

Untersuchung von Verkehrssicherheits- aspekten durch die Ver- wendung asphärischer Außenspiegel

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 56

bast

Untersuchung von Verkehrssicherheits- aspekten durch die Ver- wendung asphärischer Außenspiegel

von

Peter Bach
Gert Rüter
Fachhochschule Trier
Institut für Fahrzeugtechnik

Nils Carstengerdes
Karl F. Wender
Universität Trier
Fachbereich Psychologie

Dietmar Otte
Medizinische Hochschule Hannover
Unfallforschung

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 56

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.216/2002:
Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung sphärischer Außenspiegel

Projektbetreuung:
Uwe Ellmers

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

ISSN 0943-9307
ISBN 3-86509-419-8

Bergisch Gladbach, Februar 2006

Kurzfassung – Abstract

Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel

Der vorliegende Bericht befasst sich mit den Auswirkungen von teilasphärischen Außenspiegeln von Kraftfahrzeugen auf das Unfallgeschehen. Es wird untersucht, ob die Vorteile teilasphärischer Spiegel (größeres Sichtfeld, Reduzierung des „toten Winkels“) mit Nachteilen durch die optisch bedingten Verzerrungen des Spiegels verbunden sind (z. B. fehlerhafte Distanz- oder Geschwindigkeitsschätzungen). Hierzu wird ein mehrstufiges Vorgehen gewählt, das aus der Bestimmung des derzeitigen Ausrüstungsstands, einer Zusammenstellung und vergleichenden Betrachtung nationaler und internationaler Richtlinien und einer umfangreichen Literaturrecherche zur bisherigen Spiegelforschung besteht. Auf der Grundlage dieser Informationen wird der aktuelle Wissensstand zur seitlichen und rückwärtigen Sicht aus Kraftfahrzeugen unter besonderer Berücksichtigung der verschiedenen Arten von Außenspiegeln (plan, sphärisch konvex und teilasphärisch) ermittelt und systematisiert. Ergänzend wird im Rahmen von Unfallanalysen untersucht, ob die Verwendung neuartiger Spiegelsysteme einen messbaren Einfluss auf die Unfallstatistik hat. Besondere Relevanz haben in diesem Zusammenhang Unfälle bei Abbiegevorgängen und Fahrspurwechseln, also Unfalltypen, bei denen der so genannte „tote Winkel“ eine maßgebliche Rolle spielen könnte. Zusätzlich werden die Verwendung unterschiedlicher Spiegelsysteme und der Stand der Technik in der derzeitigen Fahrzeugpopulation ermittelt und eine Prognose für die weitere Entwicklung erarbeitet.

Diese Erhebungen dienen als Basis für die Durchführung von drei Experimenten, die Informationen zum Einfluss teilasphärischer Spiegel auf die Wahrnehmung liefern sollen. Experiment 1 beschäftigt sich mit Distanzschätzungen durch plane, sphärische und teilasphärische Spiegel. Experiment 2 untersucht die Fähigkeit von Versuchspersonen, mit Hilfe eines planen, sphärischen oder teilasphärischen Außenspiegels die Distanz- und Geschwindigkeit eines sich nähernden Fahrzeugs einzuschätzen und so den Kollisionszeitpunkt zu bestimmen. Während die ersten beiden Experimente eher Nachteile teilasphärischer Spiegel zu entdecken versuchen, widmet sich Experiment 3 ex-

plizit der Frage nach den Vorteilen dieser Spiegel. Es wird daher untersucht, ob das größere Sichtfeld trotz optischer Verzerrungen genutzt werden kann und sich somit Fehleinschätzungen bei der Objekterkennung im „toten Winkel“ signifikant reduzieren lassen.

Die Experimente können keine Belege für sicherheitsrelevante Nachteile teilasphärischer Außenspiegel finden, sie zeigen jedoch, dass ein größeres, rückwärtiges Sichtfeld genutzt werden kann.

Die Einführung teilasphärischer Außenspiegel wird daher befürwortet und es wird erwartet, dass diese positive Auswirkungen auf das Unfallgeschehen haben werden.

Investigations of traffic-safety aspects associated with a use of aspherical external mirrors

This report deals with the effects of partly aspherical vehicle mirrors on accident occurrences. It investigates the extent to which the advantages of partly aspherical mirrors (larger field of view, smaller blind spot) are offset by the distorted perspectives they provide (for example, incorrect impressions of clearance and speed). The investigations are conducted in a multi-stage procedure comprising a determination of state-of-the-art fittings, compilation and comparison of national / international guidelines, and detailed research of existent literature on vehicle mirrors. The acquired information is organized to create a contemporary database on lateral and reverse views afforded on motor vehicles, accounting specially for the various types of available external mirrors (plane, convex and partly aspherical). Accident analyses are used to examine whether modern mirror systems perceptibly influence accident statistics. Of special relevance in this context are accidents occurring during turning and lane-changing, i.e. situations in which the mirrors' blind spots can play a significant role. The extent of usage of various mirror systems and the state-of-the-art prevailing among vehicles currently in operation are ascertained, and further developments in this area forecasted.

The surveys form a basis for conducting three experiments supplying information on how partly

aspherical mirrors influence drivers' perceptions. Experiment 1 deals with distances estimated via plane, convex and partly aspherical mirrors. Experiment 2 examines the capability of test persons to estimate clearances and speeds of approaching vehicles with the help of plane, convex and partly aspherical mirrors in order to determine potential collision times. Whereas the first two experiments are meant mainly to determine the disadvantages of partly aspherical mirrors, experiment 3 focuses exclusively on their advantages, examining the usefulness of their larger field of view notwithstanding optical distortions, i.e. the significance of smaller blind spots in improving object identification.

The experiments do not reveal any safety-related disadvantages of partly aspherical external mirrors, instead demonstrate the usefulness of a larger, reverse field of view.

Accordingly, an introduction of partly aspherical external mirrors is recommended and expected to positively influence accident rates.

Inhalt

1	Grundlegendes	7	6.1.1	Versuchsaufbau	49
1.1	Begriffsbestimmungen	7	6.1.2	Durchführung	51
1.2	Optik	8	6.1.3	Ergebnisse	52
1.3	Fahrerassistenzsysteme	10	6.1.4	Diskussion	54
2	Gesetzliche Regelungen	13	6.2	Zweites Experiment	55
2.1	Umfeld	13	6.2.1	Empirische Grundlagen	55
2.2	Altes EU-Recht	14	6.2.2	Experimentelle Untersuchungen unter Berücksichtigung des Faktors „Spiegel“	56
2.2.1	Pkw, Busse, Lkw	15	6.2.3	Untersuchungen ohne Berück- sichtigung des Faktors „Spiegel“	57
2.2.2	Krafträder	16	6.2.4	Versuchsaufbau	58
2.3	Neues EU-Recht	17	6.2.5	Durchführung	61
2.3.1	Gesetzgebungsverfahren	17	6.2.6	Ergebnisse	64
2.3.2	Änderungen	18	6.2.7	Diskussion	67
2.4	Stellungnahme des VDA	19	6.3	Drittes Experiment	70
2.5	USA	20	6.3.1	Versuchsaufbau	71
2.5.1	Personenwagen	20	6.3.2	Durchführung	74
2.5.2	Krafträder	21	6.3.3	Ergebnisse	75
2.5.3	Andere Fahrzeuge	21	6.3.4	Diskussion	78
2.6	Weitere Staaten	21	7	Zusammenfassende Diskussion	79
2.6.1	Kanada	21	7.1	Ergebnisinterpretation	79
2.6.2	Australien	22	7.2	Empfehlungen	83
2.7	Übersicht	22	7.3	Vorschläge für weitere Unter- suchungen	85
2.8	Pflichten des Fahrers	22	8	Fahrzeugkategorien und Sicht- felder	85
3	Ausrüstungsstand	24	8.1	Fahrzeugkategorien nach ECE	85
3.1	Im Verkehr	24	8.2	Fahrzeugkategorien nach FMVSS	86
3.1.1	Spiegeltypen	24	8.3	Sichtfelder	87
3.1.2	Geometrie	24	8.3.1	Nach 71/127/EWG	87
3.1.3	Sichtfelder	27	8.3.2	Nach 2003/97/EG	88
3.1.4	Spiegeleinstellung	29	8.3.3	Nach FMVSS 111	89
3.2	Neufahrzeuge	31	9	Literatur	90
4	Unfallanalysen	32			
4.1	Möglichkeiten der Datenquellen	32			
4.2	Entwicklung der Unfallerhebung vor Ort	32			
4.3	Erhebungsdesign vor Ort	33			
4.4	Methode und Durchführung der Analyse im Rahmen des Projekts	33			
4.5	Ergebnis der Unfallanalyse	34			
5	Stand der Forschung	37			
5.1	Zusammenfassung	37			
5.2	Schlussfolgerungen	44			
5.3	Übersicht bisheriger Studien	46			
6	Empirische Untersuchungen	49			
6.1	Erstes Experiment	49			

Abkürzungen

		SIR	Datenbank (Scientific Information Retrieval)
α	Alpha-Fehlerniveau		
ABE	Allgemeine Betriebserlaubnis	SPSS	Statistical Package for the Social Scientists
ABS	Anti-Blockiersystem	STAIRS	Forschungsprojekt (Standardisation of Accident In-Depth Research Studies)
ADR	Australian Design Rules		
AMVSS	Australien Motor Vehicle Standards System	StVO	Straßenverkehrsordnung (BRD)
		StVZ-O	Straßenverkehrszulassungsordnung (BRD)
β	Beta-Fehlerniveau		
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen	ttc	time to collision, Zeit bis zur Kollision
BRD	Bundesrepublik Deutschland	(t)t/c	true (tatsächliche) time to collision
CMVSS	Canadian Motor Vehicle Safety Standard	TUD	Technische Universität Dresden
		TÜV	Technischer Überwachungsverein
EG-TypV	EG-Typverordnung	UN/ECE	United Nations Economic Commission for Europe (Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen in Europa)
EG	Europäische Gemeinschaft		
ESP	Elektronisches Stabilitätsprogramm	USA	United States of America (Vereinigte Staaten von Amerika)
FAT	Forschungsvereinigung Automobiltechnik		
		VDA	Verband der Deutschen Automobilindustrie
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft	VL	Versuchsleiter
GIDAS	Datenbank (German In-Depth Accident Study)	Vp(n)	Versuchsperson(-en)
		WTD	Wehrtechnische Dienststelle
GVWR	Gross Vehicle Weight Rating (zulässiges Gesamtgewicht)		
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt		
MHH	Medizinische Hochschule Hannover		
N	Einheit ‚Newton‘		
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration (Verkehrssicherheitsbehörde der USA)		
n. s.	nicht signifikant		
m. F.	mittlerer Fehler, auch Standardabweichung		
P	probability, engl. Wahrscheinlichkeit		
(p)t/c	perceived (wahrgenommene) time to collision		
SAE	Society of Automotive Engineers (Vereinigung der Ingenieure, vergleichbar mit dem Verband der Ingenieure, VDI, in Deutschland)		

1 Grundlegendes

1.1 Begriffsbestimmungen

Die in der Untersuchung verwendeten Begriffe werden wie folgt definiert:

Ambinokulare Sicht

Das gesamte sich aus der Überlagerung der monokularen Sichtfelder des rechten und des linken Auges ergebende Sichtfeld.

Augenpunkte des Fahrers

Zwei Punkte, die 65 mm voneinander entfernt sind und in 635 mm Höhe senkrecht über dem Sitzbezugspunkt (R-Punkt) liegen. Die Verbindungsgerade der beiden Punkte liegt rechtwinklig zur senkrechten Längsmittlebene des Fahrzeugs. Der Augenpunkt ist der Mittelpunkt zwischen beiden Augenpunkten.

Innenspiegel

Eine Einrichtung, die im Fahrzeuginneren angebracht werden kann.

Klothoide

Ist eine mathematische Kurve, Spirale mit immer kleiner werdendem Krümmungsradius.

Lidar

Kurzwort aus dem Englischen für ‚Light detecting and ranging‘; frei übersetzt: Aufspüren und Orten durch Lichtstrahlen.

Mittlerer Krümmungsradius r

Ist der arithmetische Mittelwert von gemessenen Krümmungsradien definierter Punkte an einem sphärisch konvexen Spiegel. Die Messung erfolgt mit einem Sphärometer.

Monokulare Sicht

Sicht, die durch ein Auge erzielt wird.

Planer Spiegel

Spiegel mit einer planen Fläche, der ein Bild eines Gegenstandes vermittelt, das die gleiche Größe besitzt wie das Bild eines direkt betrachteten Gegenstands bei gleicher Entfernung.

Radar

Kurzwort aus dem Englischen für ‚Radio detecting and ranging‘; frei übersetzt: Aufspüren und Orten durch Radiowellen.

Sphärisch konvexer Spiegel

Spiegel, der einen Ausschnitt aus einer kugeligen Fläche darstellt. Im Gegensatz zu einem planen Spiegel gleicher Fläche wird ein größeres Sichtfeld für den Betrachter ermöglicht, die Bilder sind jedoch verkleinert.

Sphärometer

Dient zur Bestimmung des Radius einer sphärischen (kugeligen) Fläche. Im Folgenden wird ein Sphärometer nach ECE-R beschrieben.

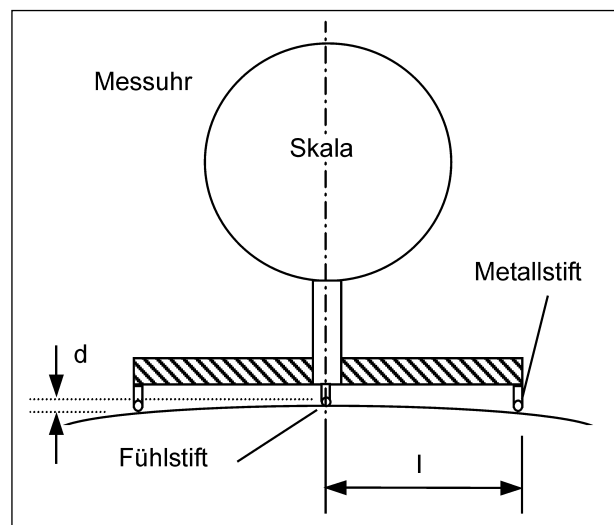


Bild 1.1: Sphärometer

$$l = \sqrt{1.000 \text{ mm}^2} = 31,62 \text{ mm}$$

Der Krümmungsradius r an einer Stelle (Position und Richtung) lässt sich demnach bestimmen zu

$$r = \frac{d^2 + l^2}{2 \cdot d}$$

Mit $d \ll l$ gilt

$$d^2 \approx 0.$$

Daraus folgt

$$r = \frac{500}{d} \cdot \text{mm}$$

Der relative Messfehler, der sich hauptsächlich aus Ablesefehler und durch die nicht unendlich kleinen Radien der Metallstifte zusammensetzt, wird mit der vorliegenden Vorrichtung auf +/- 4 % geschätzt.

Sitzbezugspunkt (R-Punkt)

Ein vom Hersteller für jeden Sitzplatz angegebener konstruktiv festgelegter Punkt, der unter Bezug auf das dreidimensionale Bezugssystem bestimmt

wird und ein spezieller H-Punkt ist, d. h. der Drehpunkt zwischen Rumpf und Oberschenkeln. Der H-Punkt wird mit einer speziellen Messpuppe ermittelt und liegt in der Mittelebene des Sitzes. Das genaue Verfahren wird in den einzelnen Regelungen beschrieben.

Teilasphärischer Spiegel

Spiegel, der aus einer sphärisch konvexen oder planen Spiegelfläche mit am äußeren Rand angebundenem asphärischem Teil besteht.

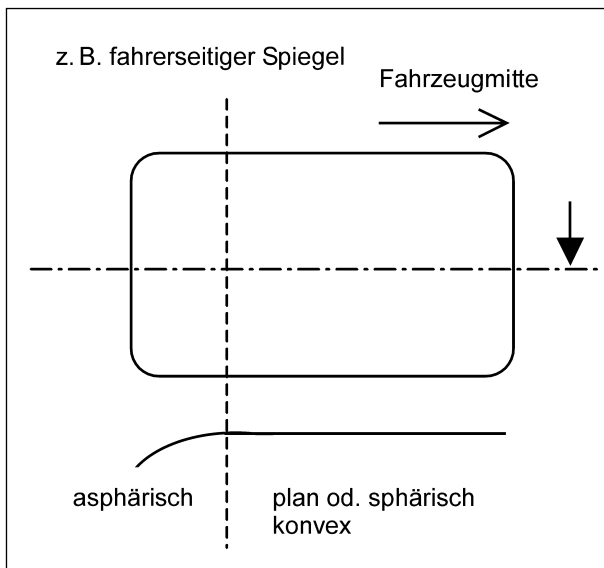


Bild 1.2: Teilasphärischer Spiegel

Überschätzung der Distanz

Die Distanz eines Gegners (Fahrzeugs) wird von der Versuchsperson größer eingeschätzt, als sie tatsächlich ist, was im Straßenverkehr kritische Situationen provoziert.

Überschätzung der Kontaktzeit

Die Zeit bis zur Kollision mit dem sich nähernden Fahrzeug wird von der Versuchsperson größer eingeschätzt, als sie tatsächlich ist, was im Straßenverkehr kritische Situationen provoziert.

Unterschätzung der Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit eines Gegners (Fahrzeugs) wird von der Versuchsperson geringer eingeschätzt, als sie tatsächlich ist, was im Straßenverkehr zu kritischen Situationen führen kann.

Verkehrsunfälle mit Personenschaden

Unfälle, bei denen infolge des Fahrverkehrs auf öffentlichen Wegen und Plätzen Personen getötet

oder verletzt werden, unabhängig von einem eventuellen Sachschaden.

Zulässiges Gesamtgewicht

Technisch zulässiges Gesamtgewicht im beladenen Zustand, wird durch den Hersteller angegeben.

1.2 Optik

„Eine Fläche, deren Hauptfunktion die Reflexion des Lichtes darstellt, ist eine Spiegelfläche.“ [49]

Ein Spiegel erzeugt ein virtuelles Bild, welches jedoch nicht direkt mit dem Auge sichtbar ist. Virtuell besagt hierbei, dass kein Licht vom Bildpunkt ausgeht. Dies bedeutet, dass man das Bild weder in einem Schirm betrachten kann noch in der Bildebene fotografieren kann. Bei einem virtuellen Bild schneiden sich die Strahlen nicht. Nach dem Reflexionsgesetz wird das Licht, das von einem Punkt eines Gegenstandes auf einen planen Spiegel trifft, zurückgeworfen. Das Auge empfängt die reflektierten Strahlen, kann aber deren wirkliche Herkunft nicht erkennen und extrapoliert sie daher rückwärtig zu einem gemeinsamen Punkt. Für den Beobachter scheint der Ursprung des Lichtes in einem geradlinig hinter dem Spiegel liegenden Punkt zu liegen. Von jedem Punkt eines Gegenstandes geht Licht aus, das am Spiegel reflektiert wird. Dadurch erhält man das Spiegelbild des Gegenstandes (vgl. beispielsweise NAUMANN & SCHRÖDER, 1987 [68]).

Für Kraftfahrzeuge kommen folgende Spiegel in Betracht:

Plane Spiegel

Für einen planen Spiegel gilt, dass der Gegenstand und das Bild bezüglich des Spiegels symmetrisch zueinander sind. Das bedeutet, dass das Spiegelbild des Gegenstandes sich hinter dem Spiegel befindet und die Gegenstands- und Bildpunkte gleich weit vom Spiegel entfernt sind. Zusätzlich ist das Spiegelbild beim planen Spiegel genauso groß und hat die gleiche Lage wie der Gegenstand.

Sphärische Spiegel

Unter sphärischen Spiegeln versteht man solche, die die Gestalt einer Kalotte haben, d. h., einen Teil einer Kugelfläche bilden. Ist hierbei die innere Seite der Kalotte verspiegelt, so handelt es sich um einen Hohl- oder Konkavspiegel, während Spiegel

mit nach außen gewölbter Reflexionsfläche Wölb- oder Konvexspiegel genannt werden, die als Fahrzeugspiegel Verwendung finden. Je nach Stärke der Krümmung ist das Bild beim Blick in den Spiegel, das man von einem Gegenstand erhält, verkleinert.

Teilasphärische Spiegel

Teilasphärische Außenspiegel sind bereits seit Ende der 70er Jahre auf dem Markt und wurden damals von DESAG (Glashersteller, gehört heute zur Schott Glas AG) in Kooperation mit dem schwedischen Automobilhersteller Volvo entwickelt. Seit dem gehören sie bei Volvo- und SAAB-Fahrzeugen zur Standardausstattung.

Bei der Entwicklung von teilasphärischen Spiegeln wurden zunächst flach-zylindrische Formen getestet, also ein Spiegel, der in der Mitte flach war und an den Enden zylindrisch gekrümmt wurde. Von diesen Spiegeln wurde jedoch wieder abgesehen, da man mit ihnen nur einen sehr kleinen Bildabschnitt in der Höhe erreichen konnte und sich darüber hinaus die Gegenstandshöhe sowie -breite zu schnell änderten und somit zu sehr verzerrten.

Anschließend wurde daher ein Spiegel mit einem planen Zentrum und immer stärker werdender Krümmung in Horizontal- sowie Vertikalrichtung an den äußeren Rändern untersucht. Die Krümmung wurde durch die Funktion einer Klothoide beschrieben.

Auch von dieser Spiegelart wurde wieder abgesehen, da die Fertigung nur unter hohem Aufwand möglich war. So war beispielsweise der plane Innenteil des Spiegels nicht hitzebeständig und wies aus diesem Grund Verformungen beim Biegen der Spiegelränder auf.

Letztlich entschieden sich die Hersteller daher für eine rotationssymmetrische Oberfläche.

Sie sollte einen fließenden Übergang zwischen einem planen oder konvexen Teil zu einem Teil mit immer stärker werdender Krümmung gewährleisten. Die Verkleinerung des Bildes sollte von gering im inneren Teil bis mittelmäßig am äußeren Teil des Spiegels zunehmen und keine allzu große Verzerrung des Bildes aufweisen.

Volvo testete 5 verschiedene Spiegelarten (s. Tabelle 1.1) mit Krümmungsfunktionen unterschiedlichen Grades. Einige von ihnen wurden dabei mit einem planen oder sphärischen Spiegel kombiniert, so wie in Bild 1.3 dargestellt.

Typ 1, 2, 3 erwiesen sich als unbrauchbar, da sie nur schwer zu fertigen waren. Bei Typ 2 trat zusätzlich eine zu große Bildverzerrung auf.

Auch Typ 1 und 3 wiesen fertigungstechnische Probleme auf.

Typ 5 ist der beste Kompromiss zwischen einer sich gleichmäßig erhöhenden Krümmung und einer minimalen Bildverkleinerung sowie Verzerrung. Er lässt sich jedoch nur sehr schwer fertigen.

Daher entschied man sich für Spiegeltyp 4, da er der beste Kompromiss zwischen Verzerrung, Bildverkleinerung, Sichtwinkel und Fertigung bedeutete.

Nr.	Beschreibung	Krümmungsfunktion
1	Kurve vierten Grades	$y = 1,7 \cdot 10^{-8} x^4$
2	Planer Innenteil mit einer Breite von 84 mm ($x = 100$) mit anschließender Kurve vierten Grades	$y = 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot (x - 100)^4 > 0$
3	Kurve sechsten Grades	$y = 3 \cdot 10^{-13} \cdot x^6$
4	Sphärischer Innenteil mit $R = 2.000$ mm und einer Breite von 100 mm und anschließender Kurve dritten Grades	$y = R \cdot \sqrt{R^2 - x^2} + 2 \cdot 10^{-5} (x - 116)^3 > 0$
5	Überlagerung einer Kurve fünften Grades mit einem sphärischen Teil mit $R = 2.500$ mm	$y = R - \sqrt{R^2 - x^2} + 5 \cdot 10^{-11} \cdot x^5$

Tab. 1.1: Spiegelarten mit Typbeschreibung [71]

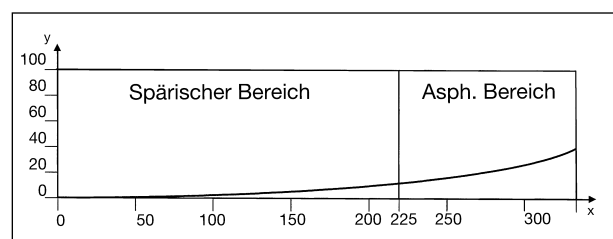


Bild 1.3: Schnitt durch einen sphärischen Omnibus-Spiegel mit asphärischem Anteil, Angaben in mm (mit freundlicher Genehmigung von Flabeg GmbH & Co. KG, Furth im Wald, Deutschland)

te. Dieser Spiegeltyp ist bei heutigen Kraftfahrzeugen unter dem Namen asphärischer oder teilasphärischer Spiegel bekannt.

Allgemein gilt bei Spiegeltyp 4 die Gleichung:

$$y = R - \sqrt{R^2 - x^2} + k \cdot (x - a)^3 > 0 \quad (*)$$

mit

$$k = 1,5 \cdot 10^{-5}$$

$$a = 116 \text{ mm}$$

Die Werte der Konstanten wurden zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal den spezifischen Bedingungen von Fahrzeugen und Lastkraftwagen angepasst.

Die Spiegelhersteller verwenden für die Fertigung der teilasphärischen Spiegel folgende Konstanten:

Hierbei ist

$$k = 2,2 \cdot 10^{-5}$$

$$a = 190 \text{ mm}$$

für Pkw-Spiegel

sowie

$$k = 1,2 \cdot 10^{-5}$$

$$a = 225 \text{ mm}$$

für Lkw-Spiegel.

Ausgehend von der sphärischen Oberfläche geht der Spiegel in den asphärischen Bereich über. Die Verzerrungen, die dieser Teil verursacht, sind in Bild 6.14 zu erkennen.

In der Richtlinie 2003/97/EG [20] (Abschnitt 2.3), in der Gleichung (*) als die Krümmung der Hauptachse des Spiegels in dem vom Hauptradius der sphärischen Grundkalotte bestimmten x-y-Koordinatensystem bezeichnet wird, werden die Konstanten jedoch nicht quantifiziert.

Im Folgenden wird kurz auf die Herstellung von Spiegelglas für die Außenspiegel von Kraftfahrzeugen eingegangen, die fast ausschließlich aus Floatglas hergestellt werden.

Das Glas besteht zu ca. 70 % aus Sand, weitere Bestandteile sind Soda, Kalk, Dolomit und Tonerde.

Bei der Herstellung werden die vermengten Rohstoffe in einem Hochofen geschmolzen, flüssiges

Glas entsteht. Mit ca. 1.000 °C fließt die Schmelze auf ein flaches Bad aus geschmolzenem Zinn und breitet sich aus (Glasherstellung nach dem Float-Verfahren bzw. Schwimmverfahren).

Auf das Floatglas wird anschließend eine dünne, spiegelnde Metallschicht aufgetragen, die aus Silber, Chrom oder Teref Blau besteht. Zusätzliche Beschichtungen machen die Glasoberfläche kratzfest und zudem wird mit Lack die Metallbeschichtung versiegelt, was vor Umwelteinflüssen schützt.

Für konvexe sowie teilasphärische Spiegel wird das Glas bei Temperaturen zwischen 500 °C und 600 °C gebogen. Hierzu werden kreisrunde Spiegelscheiben in halbkugelförmige Formen eingelegt. Jeder Spiegel wird so zu einem Kugelabschnitt und deren Radius bestimmt den späteren Spiegelradius. Bei asphärischen Spiegeln werden Kalotten verwendet, die am Rand von der Kugelförmigkeit abweichen und den asphärischen Teil beschreiben. Anschließend werden die Spiegel aus der Kalotte ausgeschnitten.

1.3 Fahrerassistenzsysteme

Die Entwicklung zeigt, dass Fahrerassistenzsysteme bei Fahrzeugen eine immer wichtigere Rolle spielen. Zurzeit arbeiten Hersteller an Systemen zur Reduzierung des toten Winkels. Da hier ein Bezug zu Rückspiegeln zu sehen ist, wird auf relevante Fahrerassistenzsysteme kurz eingegangen.

Hinter dem Begriff ‚Fahrerassistenz‘ stehen technische Systeme, die den Regelkreis ‚Fahrer-Fahrzeug‘ unterstützen und korrigieren. Hierzu gehören für heutige Fahrzeuge die allgemein bekannten und fast selbstverständlichen Systeme wie Bremskraftverstärker, Servolenkung oder Automatikgetriebe. Darüber hinaus greifen Systeme wie das Anti-Blockiersystem (ABS) oder das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) in das Regelsystem ein. Darüber hinaus befinden sich weitere sensor- und kamerabasierte Systeme in der Entwicklung, die zusätzliche Assistenz bieten.

Gerade bei Übermüdung und Ablenkung steigt das Risiko Gefahrensituationen nicht zu erkennen. Das Treffen von Fehlentscheidungen oder die falsche Ausführung von Aktionen können die Folge sein. Verkehrsuntersuchungen belegen, dass der Mensch durch sein häufiges Fehlverhalten der größte Unfallverursacher im Straßenverkehr ist. Da mit Assistenzsystemen dieses Fehlverhalten korrigiert und die Anzahl der Unfälle reduziert werden

kann, forcieren die Europäische Union und die Bundesregierung Forschungsprojekte, bei denen Firmen aus Automobil-, Zulieferer-, Elektronik-, Telekommunikationsindustrie sowie Forschungsinstitutionen auf diesem Gebiet gezielt zusammenarbeiten. Auf europäischer Ebene sind hier die Projekte PROMETHEUS oder das jüngst abgeschlossene Projekt ADASE (Advanced Driver Assistance Systems in Europe, übersetzt ‚Fortgeschrittene Fahrerassistenzsysteme in Europa‘, 2001-2004) zu nennen. Als richtungsweisende Projekte, die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert werden, gelten beispielsweise MoTiV (Mobilität und Transport im intermodalen Verkehr, 1996-2000) und dessen Nachfolgeprojekt INVENT (Intelligenter Verkehr und nutzgerechte Technik im Rahmen des Programms ‚Mobilität und Verkehr‘).

Systeme, die die Gefahr von Seitenkollisionen minimieren und bei Ausweich- und Spurwechselmanövern unterstützend eingreifen – und hier liegt auch der Wirkungsbereich von Spiegelsystemen –, werden unter dem Begriff Querführungsassistent zusammengefasst. Ein solches fast zwangsläufig rechnergestütztes Fahrerassistenzsystem ist beispielsweise in drei Ebenen aufgebaut. Mit der ersten Ebene überwacht das System kontinuierlich den Straßenverlauf sowie die Bewegung des Fahrzeugs innerhalb der Spurbegrenzung. Da ein Sensor nur einen Teilbereich abdecken kann, ist es zweckmäßig, mehrere Sensoren oder Sensortechnologien miteinander zu verbinden. Dadurch ist eine Mehrfachmessung möglich, durch deren Redundanz eine höhere Detektionsqualität und eine geringere Fehlertoleranz gewährleistet werden. Als Technologien sind Mono- und Stereokamerasysteme, Infrarot und Wärmebildkameras, Radarsysteme, Lidarsysteme und Ultraschallsensoren zu nennen. In einer zweiten Ebene wird die wahrgenommene Situation mit einem im System abgespeicherten Katalog verglichen und klassifiziert, woraus sich der Handlungsbedarf ableiten kann. In einer letzten Ebene wird dann in Form von akustischen, optischen sowie haptischen Signalen der Fahrer auf eine kritische Situation hingewiesen, u. U. kann auch aktiv in Motormanagement, Lenkung und Bremse eingegriffen werden. Neben diesen Sensorsystemen, die Informationen rechnergestützt weiterverarbeiten, gibt es auch Ansätze für Kamera-Monitor-Systeme im Pkw-Bereich. Nun folgend werden Beispiele für Fahrerassistenzsysteme aufgeführt, die Spiegelsysteme unterstützen oder ersetzen können:

MAN Abbiegeassistent (Fa. MAN)

Durch Radarsensoren an der Seitenwand des Fahrzeugs wird der Fahrer beim Rechtsabbiegen gewarnt, wenn er dabei Verkehrsteilnehmer wie Radfahrer oder Fußgänger übersieht. Eine Beschreibung des Systems sowie der Bedeutung für das Verkehrs- und Unfallgeschehen findet sich in ‚Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw‘ [69]. Das System befindet sich nach Angaben des Herstellers in der Vorentwicklung und ein Termin für einen Serienanlauf steht noch nicht fest (nach Angaben der MAN Nutzfahrzeuge AG).

Blind Spot Detection (Fa. Valeo Raytheon)

In einem Projekt von Valeo und dem US-amerikanischen Rüstungs- und Radarspezialisten Raytheon wurde ein System zur Toten-Winkel-Erkennung entwickelt, das erstmalig auf der Internationalen Automobilausstellung (IAA) 2003 in Frankfurt der Öffentlichkeit präsentiert wurde.

Das System besteht aus jeweils einem 24-GHz-Radarsensor (gleiche Technologie wie bei dem Abbiegeassistenten von MAN) auf beiden Seiten des Fahrzeugs. Diese beobachten permanent die Gebiete neben und seitlich hinter dem Fahrzeug und können so einen Bereich von 150° zwischen einem halben Meter und 40 Metern abdecken. Die Radarsensoren werden hinter dem Stoßfänger angebracht. Befindet sich ein Fahrzeug im überwachten Bereich, so wird der Fahrer mit Hilfe eines Symbols im Außenspiegel über ein überholendes Fahrzeug durch ein Warnsignal informiert. Es soll so die Kollisionsgefahr bei Spurwechseln, ausgelöst durch den toten Winkel, minimieren. Da das System das Objekt mit mehreren Strahlen erfasst, kann es auch die Position, Entfernung sowie relative Geschwindigkeit ermitteln (s. Bild 1.4). [58]

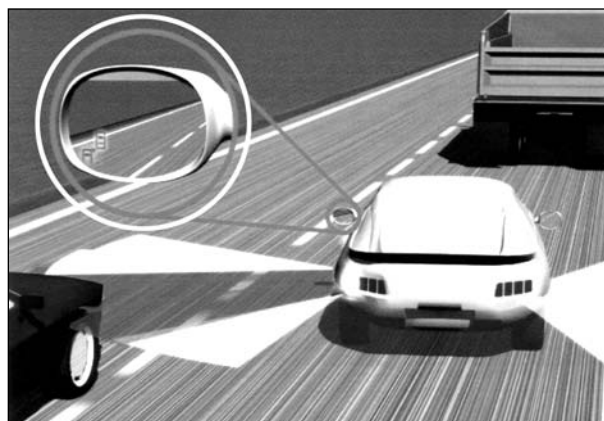


Bild 1.4: Valeo-Detektionssystem [58]

Spurwechsel-Warnsystem (Fa. Valeo Raytheon)

Das Spurwechsel-Warnsystem besteht aus einem hinter der Windschutzscheibe montierten Videosensor und kann wegen seiner Kompaktbauweise hinter dem Innenspiegel montiert werden. Im Fall eines unbeabsichtigten oder unaufmerksam durchgeführten Spurwechsels wird der Fahrer seitens des Systems über mögliche Gefahren informiert. Wird der Fahrtrichtungsanzeiger nicht betätigt, so registriert das System einen unbeabsichtigten Spurwechsel und informiert den Fahrer. [58]

Blind Spot Information System (Fa. Volvo)

Mit Hilfe von Digitalkameras in den Außenspiegeln strebt Volvo eine Überwachung des toten Winkels an. Die Digitalkameras (s. Bild 1.5, Pos. 1) erzeugen 25 Bilder pro Sekunde und kontrollieren einen drei Meter breiten und 9,5 Meter langen Seitenstreifen neben dem Fahrzeug.

Das System reagiert bei Dunkelheit und bei Tageslicht auf Fahrzeuge, die sich bis zu 20 km/h langsamer und bis zu 70 km/h schneller neben dem gefahrenen Wagen bewegen. Ist dieser Fall eingetreten, leuchtet eine Warnlampe (s. Bild 1.5, Pos. 2) in der Nähe des Außenspiegels auf. Das System hat den Nachteil, dass es bei schlechter Sicht durch Nebel oder Schneefall nicht funktionsfähig ist. Zusätzlich reagiert es zwar auf Lastwagen und Motorräder, jedoch nicht auf Mopeds und Fahrräder. Um eine Signalfut des Fahrers zu vermeiden, reagiert das System beispielsweise nicht auf parkende Fahrzeuge oder Pfosten. Um weitere Sicherheit zu gewährleisten, wurde für die Seitenscheiben und das Spiegelglas das Wasser abweisende Glas WRG (Water Repellent Glass) verwendet, um so die Verschmutzung in Grenzen zu halten und stets eine klare Sicht zu gewährleisten. Das System ging aus einer Volvo-Konzeptstudie hervor und ist jederzeit ausschaltbar. Volvo plant die Vermarktung des



Bild 1.5: Spurwechselwarnsystem Volvo [58]

Systems im Jahr 2005 (nach Angaben von Volvo Deutschland) [58].

PanoramicVision (Fa. Magna Donnelly)

Magna Donnelly, weltweit größter Automobilzulieferer von Spiegelsystemen, arbeitet an einem auf 3 Kameras basierendem System, das den kompletten rückwärtigen Raum erfasst (180°-Sichtwinkel). Nach eigenen Angaben soll dieses System in Zukunft Spiegel überflüssig machen. Bisher kam das System lediglich in einer Studie der Firma General Motors zum Einsatz. Der Vorteil liegt in der vollständigen Beseitigung eines toten Winkels sowie der Verringerung des Luftwiderstands durch Wegfall der Außenspiegel. Das Unternehmen unternimmt große Anstrengungen in Form von Werbekampagnen, dieses System zu etablieren (s. Bild 1.6) [60].

LaneChek (Fa. Magna Donnelly)

Dies ist ein weiteres System, das die Firma Großkunden (Fahrzeugherstellern) anbietet. Hierbei betätigt der Fahrer einen Schalter (z. B. Fahrtrichtungsanzeiger), worauf sich der Außenspiegel um seine vertikale Achse nach außen dreht, sodass die Sicht in den toten Winkel ermöglicht wird. Wird der Schalter nicht mehr betätigt, so bewegt sich der Spiegel in seine ursprüngliche Position zurück [61].

Nach dem aktuellen Kenntnisstand wird keines der vorgestellten Systeme bisher in Serienfahrzeugen angeboten. Der Großteil sensorbasierter Assistenzsysteme bezieht sich derzeit auf abstandsgezielte Tempomaten (bekannt unter dem Begriff ‚Adaptive Cruise Control‘, kurz ACC, z. B. angeboten in Mercedes-Benz-Oberklasse-Pkw) und Einparkhilfen. Ein Fahrerassistenzsystem als vollständiger Ersatz für Spiegel erscheint aufgrund der derzeit noch gering vorhandenen Forschungsbefunde fraglich. Für Lkw, Busse oder auch Wohnmobile werden jedoch Kameras angeboten, die über einen



Bild 1.6: Instrumententafel mit Bildschirm [60]

Monitor die Sicht in den hinteren Nahbereich, beispielsweise für das Anfahren einer Verladerampe, ermöglichen.

2 Gesetzliche Regelungen

2.1 Umfeld

Damit ein Kraftfahrzeug eine Betriebserlaubnis erhält, müssen bestimmte gesetzlich geregelte technische Mindestanforderungen erfüllt werden, die dem Schutz des Bürgers und der Umwelt dienen.

Im Zuge der weltweiten Globalisierung, die einen verstärkten Austausch von Ware zwischen den Märkten bedeutet, werden einheitliche Zulassungsvorschriften für Fahrzeuge gefordert. Von diesem Ziel ist man bisher noch entfernt, da immer noch eine Vielzahl von unterschiedlichen Sicherheitsstandards für die Zulassung von Kraftfahrzeugen und deren Teilen existiert. Bereits 1958 wurde mit dem Abkommen der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen in Europa (UN/ECE), dem seither eine Vielzahl von Staaten beigetreten ist, ein erster Schritt in Richtung weltweite Harmonisierung für Radfahrzeuge und deren Ausrüstungsgegenstände unternommen, was eine gegenseitige Anerkennung von gemeinsam entwickelten Vorschriften bedeutet. Verantwortliches Gremium für das Abkommen von 1958 ist das der UN/ECE untergeordnete „Weltforum für die Harmonisierung von Fahrzeugtechnischen Vorschriften“, kurz UN/ECE WP.29. Alle Mitgliedsstaaten der UN haben die Möglichkeit, vollständig oder als beratende Kapazität daran teilzunehmen, zur Unterzeichnung des Abkommens von 1958 ist keiner verpflichtet. Nicht-Regierungsorganisationen wie Dachverbände der Automobil- und Versicherungswirtschaft haben die Möglichkeit, in der WP.29 eine beratende Funktion einzunehmen. Von dem Gremium wurden bisher 114 einzelne Regelungen erarbeitet, die sich z. B. auf Beleuchtungseinrichtungen, Rückspiegel oder Crashesicherheit unterschiedlicher Fahrzeugkategorien beziehen (Pkw, Bus, Lkw, Anhänger). Zurzeit sind mehr als 40 Länder dem Abkommen beigetreten und haben auf freiwilliger Basis eine differenzierte Auswahl an ECE-Regelungen in die spezifischen nationalen Typzulassungen aufgenommen bzw. erkennen diese an. Ein Vertragspartner, der eine Regelung angenommen hat, kann eine Typ-Zulassung für ein Fahrzeug oder einen Teil erteilen, die diese Regelung abdeckt und muss die Typ-Zulassung von

einem anderen Land anerkennen, das die gleiche Regelung besitzt.

Die ersten Vertragsparteien war beispielsweise ein Großteil der Länder des europäischen Kontinents (u. a. Deutschland, Frankreich, Italien, Schweiz, Norwegen), später kamen die Russische Föderation und die Europäische Gemeinschaft hinzu sowie Australien und Südafrika. Zuletzt ist 2002 Neuseeland Vertragspartner geworden, sodass 2003 insgesamt 37 Parteien beigetreten sind. Dem Abkommen bisher nicht beigetreten, jedoch Mitglied der WP.29, sind bspw. die USA, Kanada, VR China, Brasilien sowie Argentinien.

Die europäische Staatengemeinschaft hat durch ihren Beitritt 86 ECE-Regelungen angenommen, d. h., diese ECE-Regelungen gelten alternativ zu entsprechenden EG-Einzelrichtlinien.

Japan, Mitglied des Abkommens seit 1998, besitzt ein den Staaten der EU ähnliches Typgenehmigungsverfahren. Mittlerweile werden in Japan rund 10 ECE-Regelungen anerkannt.

Australien, das 2000 dem Abkommen von 1958 beigetreten ist, besitzt ein eigenes Typzulassungsverfahren. Im Rahmen des Abkommens sind ungefähr 60 % der 76 einzuhaltenden Sicherheitsstandards für Neufahrzeugen den UN/ECE-Regelungen entweder identisch oder zumindest sehr ähnlich [1].

Die Basis der Fahrzeugzulassung in der Russischen Föderation bilden die UN/ECE-Regelungen, von denen 107 angewandt werden. Neben diesen Regelungen müssen weitere nationale Vorschriften/Normen eingehalten werden, die die spezifischen klimatischen Bedingungen und Straßenverhältnisse berücksichtigen.

Die Zahl der Vertragspartner wird jedoch mit dem Ziel der vollständigen Harmonisierung der Typzulassung bzw. Sicherheitsstandards für Kraftfahrzeuge nach den UN/ECE-Regelungen stetig steigen.

Für Länder, die nicht dazu bereit sind, den Verpflichtungen des Abkommens von 1958 nachzukommen, aber dennoch wirkungsvoll am Harmonisierungsprozess teilnehmen wollen, wurde durch Initiative der USA das Parallelabkommen von 1998 geschaffen. Dieses wird wie das Abkommen von 1958 ebenfalls von der WP.29 verwaltet. Wichtigster Unterschied zum Abkommen von 1958 ist, dass die Vertragsparteien einheitliche Standards

bezüglich Crashesicherheit, Umweltbelastung und Diebstahlschutz erarbeiten und nicht zur gegenseitigen Anerkennung von Regelungen verpflichtet werden. Beide Abkommen, das Parallelabkommen und das von 1958, sollen autonom funktionieren und sich gegenseitig nicht berühren. Das Parallelabkommen stellt das Potenzial für eine weltweite Harmonisierung bereit und schafft eine Brücke zwischen den unterschiedlichen Zulassungssystemen. Vertragspartner sind ca. 20 Staaten der WP.29, darunter die europäische Staatengemeinschaft, USA, Kanada, Japan, China und Korea.

Aufgrund des Systems der Selbstzertifizierung, das mit dem Typzulassungsverfahren nach UN/ECE nicht konform ist, und aufgrund von Einwänden gegen organisatorische Regelungen der ECE WP.29 seitens der USA sind die USA und Kanada dem Abkommen von 1958 bisher nicht beigetreten [89]. Beide Staaten sind jedoch Unterzeichner des Parallelabkommens.

Ein Beitritt der Volksrepublik China zum Parallelabkommen erfolgte im Jahr 2000. Obwohl die zu erfüllenden nationalen Regelungen nahezu identisch mit den ECE-Regelungen sind, d. h., teilweise sogar wörtlich übernommen wurden, ist China dem Abkommen von 1958 bisher nicht beigetreten und es findet trotz sehr ähnlicher Standards keine Anerkennung von ECE-Regelungen statt. Konsequenterweise wird von den Mitgliedsstaaten der WP.29 der noch ausstehende Beitritt gefordert [82].

Südkorea, das in Asien und nunmehr auch weltweit eine immer größere wirtschaftliche Rolle spielt, ist Vertragspartner trotz des Ende 2002 eingeführten Systems der Selbstzertifizierung [4].

2.2 Altes EU-Recht

Nach § 30 der StVZ-O [78] (Bau- und Betriebsvorschriften) kann anstelle der Allgemeinen Betriebserlaubnis (ABE) die EG-Typzulassung treten, die für Pkw sogar verpflichtend ist.

Bezüglich § 56 [79] (Rückspiegel und andere Spiegel) wird auf die jeweilige EG-Richtlinie der entsprechenden Fahrzeugkategorie verwiesen. Allgemein für Kraftfahrzeuge ist die noch gültige Richtlinie 71/127/EWG [22], für land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen sowie für Bauteile und Merkmale von zwei- oder dreirädrige Kfz gelten die entsprechenden EG-Richtlinien 74/346/EWG [24] bzw. 97/24/EG [19]. Neben den Verweisen auf die gel-

tenden EG-Richtlinien sind in dem Paragraphen einige Einzelentscheide (bspw. Rückspiegel an Zugmaschinen mit Wetterschutz) und spezielle Vorschriften (Anzahl der Rückspiegel an Fahrschulfahrzeugen) aufgeführt.

Seit 1996 ist für alle Mitgliedsstaaten der Europäischen Union ein einheitliches Typgenehmigungsverfahren (EG-TypV) bisher nur für die Fahrzeugkategorie M1 obligatorisch, d. h., es ersetzt in den Mitgliedsstaaten die jeweilige nationale Allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) für diese Fahrzeugkategorie (Ausführungen bezüglich der Einteilung der Fahrzeuge in Kategorien nach EG bzw. ECE befinden sich in Kapitel 8.1. Die Zulassung wird erteilt, wenn dokumentiert werden kann, dass bestimmte erarbeitete Einzelrichtlinien eingehalten werden, wie z. B. die Richtlinie bezüglich Rückspiegel. Für Fahrzeuge der Kategorie M1 beträgt die Anzahl dieser Richtlinien 44, für die es entsprechende und als gleichwertig anerkannte ECE-Regelungen gibt. Das Verfahren der Typzulassung basiert auf der Rechtsgrundlage der EG-Richtlinie 70/156/EWG [21] zur Angleichung der Rechtsvorschriften für Kfz und deren Anhänger und beschreibt ein Gemeinschaftsverfahren zur Erlangung einer EG-Typzulassung für die Fahrzeugkategorien M, N und O. Das Genehmigungsverfahren ist demnach für andere Fahrzeugkategorien außer M1 weitestgehend formuliert, wird aber aus organisatorischen Gründen bisher nur auf die Kategorie M1 angewendet.

Nach Richtlinie 87/403/EWG [25] können auf Wunsch des Antragstellers bzw. des Herstellers einer nationalen ABE für Fahrzeuge, die nicht der Kategorie M1 entsprechen, die harmonisierten Einzelrichtlinien der EG als Grundlage für die Betriebserlaubnis anstelle einzelstaatlicher Vorschriften dienen. Weiterhin bearbeitet nach Verlangen des Antragsstellers die zuständige nationale Behörde (wie das KBA) den Betriebserlaubnisbogen für die jeweilig erfüllte Einzelrichtlinie, der in anderen Mitgliedsstaaten bei der Typzulassung als Nachweis für die jeweilig erfüllte Richtlinie dient, wodurch eine Zulassung somit viel zügiger erfolgen kann.

Für land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen sowie für Bauteile und Merkmale von zwei- oder dreirädrigen Kfz wird in Richtlinie 74/150/EWG [23] bzw. Richtlinie 92/61/EWG [27] ein EG-Typgenehmigungsverfahren beschrieben, für das jeweils weitere Einzelrichtlinien eingehalten werden müssen.

Die Richtlinien bezüglich der rückwärtigen indirekten Sicht für Kraftfahrzeuge 71/127/EWG [22] und für Zwei- oder Dreiräder 97/24/EG [19] werden im Folgenden näher betrachtet. Land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen werden hierbei außer Acht gelassen.

2.2.1 Pkw, Busse, Lkw

Bezüglich der Rückspiegel bei Fahrzeugen der Gruppen N und M greift die Richtlinie 71/127/EWG (Richtlinie des Rates vom 01.03.1971 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Rückspiegel von Kraftfahrzeugen) [22], die auf nationaler Ebene der EG-Staaten bis zum 21.01.2004 obligatorisch war. Als gleichwertig wird hierzu die Regelung ECE-R 46 angesehen. Im Rahmen der einheitlichen EG-Typzulassung nach 70/156/EWG [21] ist diese Richtlinie nur auf Fahrzeuge der Kategorie M₁ anwendbar. Die letzte Änderung der Richtlinie 71/127 EWG [22] fand im Mai 1988 durch die Richtlinie 88/321/EWG [26] statt.

In dieser Regelung werden die Spiegel in fünf Spiegelgruppen eingeteilt (Gruppe I bis V), wobei die erste Gruppe die Innenspiegel und Gruppen zwei und drei die Hauptaußenspiegel bezeichnen. Diese beiden Gruppen unterscheiden sich in der Ermittlung der Mindestspiegelgröße. Die übrigen Gruppen kennzeichnen Weitwinkel und Anfahrspiegel (Bezeichnung ‚Rampenaußenspiegel‘ nach neuer EU-Richtlinie, vgl. 2.3.2), die in erster Linie Lkw und Bussen vorbehalten sind. Die Sichtfelder, die die Spiegel auf der Fahrbahn beschreiben müssen, sind in Kapitel 8.3.1 wiedergegeben.

Allgemeine Anforderungen

- Die Spiegel müssen verstellbar sein und im Falle eines Aufpralls wegklappen können.
- Bestehen einer Schlagprüfung auf die spiegelnde Fläche und einer Biegeprüfung am Gehäuse, deren Ablauf in der Richtlinie genau festgelegt ist.
- Die spiegelnden Flächen dürfen bestimmte Reflexionsgrade nicht unterschreiten. Das Verfahren ist in der Regelung aufgeführt.
- Der Hersteller muss gewährleisten, dass die Spiegel der Serienproduktion mit den Angaben des geprüften Spiegels übereinstimmen. Die zulässige Behörde, die die Typgenehmigung

erteilt hat, darf jederzeit stichprobenartige Kontrollen durchführen.

Spiegelgeometrie

- Die spiegelnde Fläche muss entweder plan oder sphärisch konvex (Spiegelgröße ist nach außen gewölbt und stellt in der Regel einen Teil einer sphärischen Fläche dar, die bei Betrachtung den Bildausschnitt vergrößert und dadurch Objekte kleiner erscheinen lässt) sein.
- Der Unterschied zwischen 6 definiert gemessenen Krümmungsradien und dem mittleren Krümmungsradius r , der aus diesen bestimmt wird, darf nicht mehr als 15 % betragen. Die Messstellen, an denen der Krümmungsradius in horizontaler und vertikaler Richtung bestimmt wird, liegen bei 1/3, 1/2 und 2/3 auf einer horizontalen Linie, die durch den Mittelpunkt des Spiegels geht.
- Die Spiegelflächenabmessungen der Gruppen I bis III müssen so beschaffen sein, dass sich ein Rechteck (Länge a • Länge h) und eine senkrecht stehende Strecke (Länge b) bestimmter Größe darauf beschreiben lassen. Für jede Fahrzeugkategorie lassen sich aus einer Tabelle die geometrischen Abmessungen des Rechtecks und der Strecke bestimmen. Als Variable geht in die Bestimmung der mittlere konvexe Krümmungsradius r der Spiegelgröße ein. Für die Kategorie M₁, N₁ sind die Längen exemplarisch dargestellt:

Innenspiegel (Gruppe I), alle Klassen

$$\text{Länge } a = 150 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1.000 \text{ mm}}{r}} \text{ mm,}$$

wobei $r \geq 1.200 \text{ mm}$, $h = 40 \text{ mm}$, $b = 0 \text{ mm}$

Rückspiegel (Gruppe II), Klasse M₂, M₃, N₂, N₃

$$\text{Länge } a = 170 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1.000 \text{ mm}}{r}} \text{ mm,}$$

wobei $r \geq 1.800 \text{ mm}$, $h = 40 \text{ mm}$, Strecke $b = 200 \text{ mm}$ (parallel zu h)

Rückspiegel (Gruppe III), Klasse M₁, N₁ (u. a. Pkw)

$$\text{Länge } a = 130 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1.000 \text{ mm}}{r}} \text{ mm,}$$

wobei $r \geq 1.200 \text{ mm}$, $h = 40 \text{ mm}$, Strecke $b = 70 \text{ mm}$ (parallel zu h)

Zudem sind bei Pkw (M_1 , aber auch N_1) Spiegel der Gruppe II zulässig, die für die übrigen Fahrzeuge der Kategorie M und N vorgeschrieben sind. Die Mindestspiegelfläche bei der Gruppe II ist größer und der mittlere Krümmungsradius muss größer gleich 1.800 mm sein.

Anbringung

Für Pkw mit bis zu insgesamt 9 Sitzplätzen und Kleintransporter mit einem zulässigem Gesamtgewicht bis zu 3,5 Tonnen (Kategorien M_1 und N_1) ist neben einem Innenspiegel ein Außenspiegel der Gruppe III auf der Fahrerseite zwingend erforderlich. Die Anbringung eines zweiten Außenspiegels ist jedoch zulässig und wird zwingend notwendig, wenn die Anforderungen bezüglich Sicht an den Innenspiegel nicht genügen. Für alle anderen Kategorien (M_2 , M_3 , N_2 ...) sind stets zwei Außenspiegel erforderlich.

Anforderungen an Sichtfelder

Für jede Gruppe und Kategorie müssen definierte Sichtfelder, beschrieben durch Flächen auf der Fahrbahn rechts, links und hinter dem Fahrzeug, vom Fahrer mit ambinokularer Sicht eingesehen werden. Die hierfür erforderliche Bestimmung der Positionen der Augenpunkte des Fahrers wird in der Richtlinie dargestellt.

Das erforderliche Sichtfeld für den fahrerseitigen und beifahrerseitigen Außenspiegel ist exemplarisch für die Fahrzeugkategorie M_1 und N_1 bis einschließlich 2 Tonnen Gesamtgewicht in Kapitel 8.3.1 dargestellt.

Weiteres

Die Fahrzeugbreite, die in der Richtlinie nach ISO-Norm 612-1978 definiert wird, schließt über den Fahrzeugumriss hinausragende Rückspiegel aus und ist für Fahrzeuge der Klasse M_1 mit höchstens 2.500 mm angegeben. Für andere Klassen darf die nach ISO-Norm definierte Breite 2.550 mm nicht überschreiten.

Die Spiegel können daher über die zulässigen Höchstbreiten hinausragen, jedoch nicht mehr als 0,2 m. Der Vorsprung über den Fahrzeugumriss hinaus darf nicht wesentlich größer sein, als es zur Verwirklichung der Sichtfelder erforderlich ist.

In Bezug auf unterschiedliche spiegelnde Flächen eines Spiegels, die verschieden gekrümmt oder unterschiedlich abgewinkelt sein dürfen, wird in der Richtlinie gefordert, dass mindestens eine dieser

Flächen konvex oder plan ist und das vorgeschriebene Sichtfeld vermittelt. Demnach wird an einen asphärischen Anteil eines Spiegels keine Forderung gestellt, weder an Krümmung noch an Anordnung.

Zu den genannten Vorschriften findet sich in § 34a der StVZ-O der ‚Anforderungskatalog für Kraftomnibusse und Kleinbusse, die zur Beförderung von Schülern und Kindergartenkindern besonders eingesetzt werden‘. Neben den gesetzlich vorgeschriebenen Sichtfeldern nach StVZ-O (§ 56 bzw. 71/127/EWG) werden hierin – neben einer Vielzahl weiterer Anforderungen – zusätzliche Sichtfelder gefordert, die den vom Fahrer aus betrachteten rechten und vorausliegenden Nahbereich betreffen.

2.2.2 Krafträder

Für diese Fahrzeugkategorie ist die Richtlinie 97/24/EG [19] (Bauteile und Merkmale von zweirädrigen oder dreirädrigen Kfz) für die EG-Staaten bindend. Von der EG ist diesbezüglich die ECE-R 81 als gleichwertig angesehen.

Zwei Gruppen von Spiegeln werden unterschieden: Spiegel der Gruppe I sind Innenspiegel, die vornehmlich für dreirädrige Kfz bestimmt sind. Spiegel der Gruppe L sind Hauptaußenspiegel für beide Klassen.

Allgemeine Anforderungen

Die genannten Anforderungen in 2.2.1 sind für diese Kategorie weitestgehend simultan anwendbar.

Spiegelgeometrie

- Die verwendeten Spiegel müssen alle konvex sein. Der mittlere Krümmungsradius muss in einem Bereich von 1.000 mm bis 1.500 mm liegen.
- Die Fläche der Außenspiegel darf nicht kleiner als definierte Flächen sein (Kreis und Rechteck) und muss sich in definierten Flächen völlig einschreiben lassen. Für Außenspiegel bedeutet das:

Für die Mindestabmessungen gilt, dass die Fläche nicht kleiner als 6.900 mm² sein darf. Der Mindestdurchmesser bei kreisrunden Spiegeln muss 94 mm² betragen, und bei nicht kreisrunden Spiegeln muss ein Kreis von 78 mm Durchmesser darauf beschreibbar sein.

Die Höchstabmessungen sollen so gewählt sein, dass ein kreisrunder Spiegel einen Durchmesser unter 150 mm besitzt, und bei nicht kreisrunden Flächen muss er in ein Rechteck mit den Abmessungen 120 mm • 200 mm eingeschrieben werden können.

Anbringung

Zweiräder bis zu einem Hubraum von 50 cm³ benötigen nur einen Hauptaußenspiegel, ansonsten sind zwei Außenspiegel obligatorisch.

Anforderungen an Sichtfelder

Die Sichtfelder der Außenspiegel sind identisch mit denen der Richtlinie 71/127/EWG [22], dargestellt in Kapitel 8.3. Gleiches gilt bei der Verwendung von Innenspiegel bei dreirädrigen Kfz.

Weiteres

Der Flächenschwerpunkt der spiegelnden Fläche darf mindestens 280 mm von der Längsmittlebene bei Geradeausfahrt entfernt sein. Der Spiegel darf nicht weiter als 0,2 m über die gesamte Fahrzeugbreite ohne Spiegel hinausragen.

Bezüglich weiterer spiegelnder Flächen eines Spiegels wird keine Aussage gemacht. Sie sind dennoch in dieser Fahrzeugkategorie möglich, da Rückspiegel der Gruppen I und III geprüft nach der Richtlinie 71/127/EWG [22] (Gruppen M, N) für die Kategorie L ebenfalls zulässig sind.

Im Gegensatz zu den Kategorien M und N, bei denen der Augenpunkt des Fahrers zur Sichtfeldüberprüfung mit dem Sitzbezugspunkt für jedes Fahrzeug genau festgelegt und reproduzierbar ist, wird in dieser Kategorie lediglich eine normale Haltung des Fahrers zur Überprüfung erfordert. Zur Problematik der undefinierten Sitzposition wurden bereits Untersuchungen im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführt und Vorschläge dargestellt (van de SAND, 2001 [83]).

2.3 Neues EU-Recht

Ausgangspunkt für die neue Richtlinie 2003/97/EG (Richtlinie 2003/97/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 10. November 2003 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für die Typgenehmigung von Einrichtungen für indirekte Sicht und von mit solchen Einrichtungen ausgestatteten Fahrzeugen) [20], die die bisherige Spiegelrichtlinie 71/127/EWG [22] für Fahrzeuge der Kategorie M und N ersetzen soll, bildete

die Besorgnis über die Zahl von Unfällen (mit schwer oder gar tödlich verletzten Personen), die sich ereignen, weil Fahrer andere Verkehrsteilnehmer übersehen, da diese sich im sog. toten Winkel befinden. Ziel ist es also, den nicht einsehbaren Bereich durch bessere Spiegelsysteme im Nahbereich des Fahrzeugs zu verringern, so die Aussagen der EU-Kommission. Die bisherigen Schritte im Gesetzgebungsverfahren sowie ein kurzer Überblick über den Inhalt werden im Folgenden kurz wiedergegeben.

2.3.1 Gesetzgebungsverfahren

Mit dem Ziel, die Sicherheit von Straßenverkehrsteilnehmern zu verbessern, übermittelte die Kommission am 7. Januar 2002 dem Europäischen Parlament und dem Rat einen Vorschlag (Dokument 2001/0317 COD) für eine Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für die Typgenehmigung von Rückspiegeln, von zusätzlichen Systemen für indirekte Sicht und mit solchen Einrichtungen ausgestatteten Fahrzeugen sowie zur Anpassung der Richtlinie 70/156/EWG.

Am 9. April 2002 nahm das Europäische Parlament den Vorschlag der Kommission im vereinfachten Verfahren in erster Lesung ohne Änderungen an.

Am 24. April 2002 gab der Europäische Wirtschafts- und Sozialausschuss seine Stellungnahme ab.

Am 7. April 2003 legte der Rat seinen gemeinsamen Standpunkt fest. Die Kommission gab gegenüber dem Rat folgende Erklärung ab:

„Die Kommission bedauert, dass die Übergangsfrist von sechsunddreißig Monaten bis zur verbindlichen Anwendung der Vorschriften für die Typgenehmigung von Spiegeln und zusätzlichen Systemen für indirekte Sicht nicht für alle Klassen von Neufahrzeugen und Bauteile gilt und dass der Rat für Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge und ihre Bauteile eine Übergangsfrist von zweiundsiebzig Monaten festgelegt hat.“

Am 8. April 2003 verabschiedete die Kommission nach Artikel 251 Absatz 2 Unterabsatz 2 EG-Vertrag ihre Mitteilung an das Europäische Parlament und den Rat zum gemeinsamen Standpunkt des Rates.

Am 1. Juli 2003 nahm das Europäische Parlament in zweiter Lesung eine legislative Entschließung an, mit der der gemeinsame Standpunkt des Rates in einem Punkt geändert wurde. Die Änderung besteht

in der Einfügung eines neuen Absatzes 7a in Artikel 2, wonach die Kommission der UN-Wirtschaftskommission für Europa (UN/ECE) einen Vorschlag zur Angleichung der UN/ECE-Regelung Nr. 46 an die Bestimmungen dieser Richtlinie zu unterbreiten hat.

Der Rat billigte die vom Europäischen Parlament im Rahmen der zweiten Lesung angenommene Abänderung an den Vorschlag für eine Richtlinie zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für die Typgenehmigung von Einrichtungen für indirekte Sicht und mit solchen Einrichtungen ausgestatteten Fahrzeugen (20.10.2003).

Dannach gilt die Richtlinie 2003/97/EG [20] gemäß Artikel 251 Absatz 3 des EG-Vertrags als in der so abgeänderten Fassung des gemeinsamen Standpunkts als erlassen und ist seit dem Tag ihrer Veröffentlichung am 21.01.2004 in Kraft. Die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union müssen die Richtlinie bis zum 26.01.2005 angenommen bzw. in den entsprechenden nationalen Gesetzestexten verankert haben. Zum 26.01.2010 wird die Richtlinie 71/127/EWG aufgehoben.

Zusammenfassung des Inhalts

Der Vorschlag beruht auf Forschungsergebnissen, die die Kommission mit den Mitgliedsstaaten, der Industrie und anderen Interessengruppen (z. B. VDA) erörtert hat, und enthält besondere Anforderungen zur Verkleinerung des toten Winkels, die die zuletzt 1988 geänderte bestehende Rückspiegelrichtlinie ergänzen. Folgende wesentliche Neuerungen sind vorgesehen:

- Obligatorischer Einbau eines zweiten Außenspiegels für Personenkraftwagen zur Verbesserung der Sicht auf der Beifahrerseite,
- Aufnahme und Definition von Rückspiegeln mit asphärischem Teil zur Erweiterung der Sichtfelder,
- Ausstattung bestimmter Fahrzeuge mit zusätzlichen Spiegeln (Lkw mit Frontspiegeln, Pkw mit Außenspiegeln auf der Beifahrerseite, leichte Nutzfahrzeuge mit teilasphärischen Spiegeln),
- Ersatz bestimmter Spiegel durch andere Systeme für indirekte Sicht wie Kamera-Monitor-Systeme.

Diese neue Richtlinie ersetzt die Richtlinie 71/127/EWG [22] und ist für alle Fahrzeuge der Klassen M und N in den Staaten der EG verpflichtend.

Mit diesem Vorschlag werden erstmalig EU-weit verbindliche harmonisierte Vorschriften für die Typgenehmigung von Spiegeln und anderen Systemen für indirekte Sicht für größere Kraftfahrzeuge eingeführt.

2.3.2 Änderungen

Spiegelgeometrie

Die spiegelnde Fläche eines Rückspiegels muss nach der Richtlinie 2003/97/EG plan oder sphärisch konvex sein, kann aber mit einem zusätzlichen asphärischen Teil ausgestattet sein, sofern der plane oder konvexe Hauptspiegel das vorgeschriebene Sichtfeld vermittelt.

Der asphärische Teil muss, falls einer vorhanden ist, so bemessen sein, dass er dem Fahrer verwertbare Informationen liefert. Die Breite muss daher an einer Stelle 30 mm betragen und der Krümmungsradius muss mindestens 150 mm groß sein. Die Breite darf zudem höchstens 1/3 der Gesamtbreite der spiegelnden Fläche ausmachen. Die Funktion, mit der der asphärische Teil beschrieben wird, wurde bereits in Kapitel 1.2 aufgeführt (Gleichung*).

Der mittlere Krümmungsradius r darf den Wert von 1.200 mm für Spiegel der Gruppen I bis III nicht unterschreiten.

Mit Gruppe VI wird eine zusätzliche Spiegelgruppe aufgeführt, die als Frontspiegel bezeichnet wird und ein vorgeschriebenes Sichtfeld auf der Fahrbahn vor dem Fahrzeug liefern muss. Für Fahrzeuge der Gruppe N2 über 7,5 t und N3 sind diese Spiegel vorgeschrieben. Für alle anderen Fahrzeuge der Klasse N und M aber auch zulässig.

Anbringung

Die Vorschriften zur Anbringung der Rückspiegel sind nahezu identisch mit Richtlinie 71/127/EWG [22]. Bei der Fahrzeugklasse M_1 ist der Spiegel auf der Beifahrerseite nun jedoch verpflichtend.

Anforderungen an Sichtfelder

- Innenspiegel

Das erforderliche Sichtfeld auf der Fahrbahn ist mit den Bestimmungen der 71/127/EWG [22] identisch.

- Hauptaußenrückspiegel (Gruppe II)

Der Fahrer muss in 30 m Entfernung vom Augenpunkt einen ebenen und horizontalen

Teil der Fahrbahn von 5 m Breite einsehen können.

Außerdem muss der Fahrer in dem Bereich, der sich bis zu 4 m hinter dem Augenpunkt befindet, einen 1 m breiten Streifen der Fahrbahn einsehen können. Im Vergleich zur Richtlinie 71/127/EWG ist der einsehbare Bereich auf der Fahrbahn breiter geworden und ist näher an den Fahrer herangerückt (vgl. Bild 8.1 und Bild 8.5).

- Hauptaußenspiegel der Gruppe III

Das Sichtfeld auf Fahrer- und Beifahrerseite muss so beschaffen sein, dass der Fahrer in 20 m Entfernung vom Augenpunkt ein rückwärtiges Sichtfeld von 4 m einsehen kann.

Zusätzlich muss der Fahrer auf einer Strecke von 4 m vom Augenpunkt entfernt einen 1 m breiten Streifen der Fahrbahn einsehen können. Im Vergleich zur Richtlinie 71/127/EWG ist – wie auch bei Spiegeln der Gruppe II – das Sichtfeld breiter geworden und zudem näher an den Fahrer herangerückt (vgl. Bild 8.2, Bild 8.6).

- Auch bei Spiegeln der Gruppe IV (vgl. Bild 8.3, Bild 8.7) und Gruppe V (vgl. Bild 8.4, Bild 8.8) hat sich das Sichtfeld vergrößert. Spiegel der Gruppe IV sind nun für Fahrzeuge der Klasse $N_2 > 7,5$ t und N_3 vorgeschrieben.

Kamera-Monitor-Systeme für indirekte Sicht

Die neue EU-Richtlinie nimmt erstmals über Spiegel hinaus auch Regelungen zu zusätzlichen Systemen auf, wozu unter anderem das Kamera-Monitor-System gehört.

Ein Monitor eines Kamera-Systems muss, falls es auf einer ebenen Fläche angebracht ist, bei jeder Einstellung von einer Kugel mit 165 mm Durchmesser berührt werden können und einen Abrundungsradius c von mindestens 2,5 mm haben.

Bei tageslichtähnlichen Beleuchtungen und bei einem Lichteinfall, der bei tief stehender Sonne auftritt, muss die Kamera einen bestimmten Kontrast aufnehmen können.

Die mittlere Leuchtdichte des Monitors muss zusätzlich manuell oder automatisch an die Umgebungsbedingung angepasst werden.

Alternative Systeme für indirekte Sicht

Für alternative Systeme gilt, dass es den vom Auge sichtbaren Spektralbereich erfassen und

ohne vorherige Interpretation wiedergeben muss.

Die Funktion muss uneingeschränkt möglich sein. Bei diesen Systemen gelten wie bei Kamera-Monitor-Systemen die funktionalen Anforderungen (Kontrast etc.).

2.4 Stellungnahme des VDA

Auszug aus dem Jahresbericht 2003 des VDA zum Thema Auto & Sicherheit [84], Seite 190/191:

„Die ausreichende Sicht aus Kraftfahrzeugen ist ein wesentliches Element der aktiven Sicherheit von Fahrzeugen. Entscheidend sind sowohl die direkte Sicht des Fahrers nach vorn als auch die indirekte Sicht nach hinten sowie die Rundumsicht.

Die deutsche Automobilindustrie hat sich bereits Anfang der 90er Jahre verstärkt für eine systematische Verbesserung der Sicht aus Fahrzeugen engagiert. Besondere Defizite wurden bei der indirekten Sicht mit konventionellen Rückspiegelsystemen ausgemacht. In der Folge wurde deshalb ein Konzept zur Verbesserung der europäischen Vorschriften über die Rückspiegel entwickelt. Zunächst wurden Spiegelsysteme mit asphärischem Teil angewandt. Damit konnten die gesetzlich vorgegebenen Sichtfelder rechts und links vom Fahrzeug (sowohl bei Personenkraftwagen als auch bei Nutzfahrzeugen) erweitert werden. Der so genannte „tote Winkel“ konnte damit ganz oder zumindest teilweise vermieden werden.

Seit kurzem sollen auch Systeme wie Kamera, Ultraschall und Radar, die zur indirekten Sicht eingesetzt werden, genehmigungsfähig gemacht werden. Diese Vorschläge hat die deutsche Regierung an die Kommission herangetragen. Bedauerlicherweise enthält der von der Kommission vorbereitete und dem Rat zur Verabschiedung vorliegende Entwurf der neuen EG-Richtlinie „Indirekte Sicht/Rückspiegel“ nicht mehr die ursprünglich von der Automobilindustrie entwickelten Verbesserungsvorschläge. Im Gegenteil – selbst die Definition des teilasphärischen Spiegels fehlt. Der Entwurf der Richtlinie sieht lediglich die Genehmigungsfähigkeit von Kamera-/Videosystemen vor, wurde jedoch nicht allgemein für andersartige Systeme, zum Beispiel akustische Systeme, geöffnet. Für Personenkraftwagen wurden die Sichtfeldanforderungen formal erweitert, jedoch ohne sinnvollen Nutzen für den Fahrer.

Falls die neue EG-Richtlinie „Indirekte Sicht/Rückspiegel“ eingeführt werden sollte, ist zu befürchten, dass damit die indirekte Sicht nicht auf dem Stand der Technik verbessert wird und dass die Spiegelsysteme überflüssigerweise an die neuen Sichtfeldanforderungen angepasst werden müssen. Zudem wären andere Systeme als Kamera/Video nicht zulassungsfähig.

Die deutsche Automobilindustrie hat deshalb erneut die Initiative ergriffen und einen Vorschlag zur Änderung der ECE-Regelung 46 „Rückspiegel“ vorbereitet, der den von der Automobilindustrie ursprünglich entwickelten Konzepten zur Verbesserung der indirekten Sicht Rechnung trägt. Dieser Vorschlag wurde sowohl an den Bundesminister für Verkehr als auch an den Automobil-Weltverband OICA mit dem Ziel herangetragen, ihn bei der zuständigen Arbeitsgruppe ECE-WP.29 einzureichen. Sollte eine Änderung der ECE-Regelung 46 zügig vonstatten gehen, käme die EG-Richtlinie „Indirekte Sicht/Rückspiegel“ möglicherweise nicht mehr zur Anwendung.

Unabhängig von den Beratungen der Kommission zur Änderung der EG-Richtlinie „Rückspiegel“ haben die Niederlande 2002 und Belgien 2003 eigene nationale Vorschriften über Rückspiegel in Kraft gesetzt. In den Niederlanden soll die Ausrüstung mit gewissen zusätzlichen Spiegeln subventioniert werden. Belgien hat im Wesentlichen die bemängelten Elemente des Entwurfs der neuen EG-Richtlinie „Indirekte Sicht/Rückspiegel“ zum 1. Januar 2003 national verbindlich eingeführt. Die Automobilindustrie hat sich im Rahmen der Notifizierung gegen diese nationalen Alleingänge ausgesprochen. Die Niederlande sehen in der Zwischenzeit von der Forderung und Subvention von Zusatzspiegeln ab. Belgien wurde von der Kommission aufgefordert, diese nationale Rückspiegelvorschrift zurückzuziehen und bei Bedarf zu überarbeiten und gegebenenfalls erneut zu notifizieren.

Nach Auffassung der Automobilindustrie stehen diese nationalen gesetzgeberischen Aktivitäten im Widerspruch zu den Vorgaben für harmonisierte gemeinschaftsrechtliche Vorschriften.“

Zu diesem Auszug sei angemerkt, dass er sich auf den Vorschlag zur späteren endgültigen Richtlinie 2003/97/EG bezieht, nämlich 2001/0317 (COD), bereits erwähnt in Kapitel 2.3.1.

Dieser Vorschlag ist weitestgehend identisch mit der endgültigen Fassung der Richtlinie

2003/97/EG, jedoch wurden in dem Vorschlag teilasphärische Außenspiegel an Fahrzeugen der Klasse M₁ und N₁ als verpflichtend vorgesehen. Des Weiteren wurde für Fahrzeuge der Klasse N2 mit einem maximalen zulässigen Gesamtgewicht von 7,5 t die Anbringung von Spiegeln der Gruppe IV, V und VI als obligatorisch angesehen. Beide Aspekte wurden in der Richtlinie 2003/97/EG gestrichen.

2.5 USA

Entgegen der Art von Typzulassungsverfahren in der EU, bei der als Prüfstellen akkreditierte technische Dienste (in der BRD sind dies neben Einrichtungen des TÜV, der DEKRA auch Unternehmen und hochschulnahe Institute) nach Einreichung eines Antrags des Herstellers die Einhaltung der Sicherheitsstandards durch Prüfungen bescheinigen, findet in den USA ein System der Selbstzertifizierung statt. Der Fahrzeughersteller muss dafür Sorge tragen, dass die Fahrzeuge und deren Teile die von der NHTSA durchgeführten Prüfungen nach FMVSS erfüllen. Ist dies nicht gegeben, können rechtliche Schritte eingeleitet und das Fahrzeug vom Markt genommen werden. Dieses System lässt eine höhere Flexibilität bei der Produktgestaltung zu.

In dem FMVSS 111 [30] werden die Anforderungen an die indirekte rückwärtige Sicht aus Kraftfahrzeugen aufgeführt. Die Regelung bezieht sich auf Innen- und Außenspiegel von Personenwagen, Mehrzweck-Personenwagen, Lastwagen, Bussen, Schulbussen und Krafträdern. Die Fahrzeugkategorien nach diesem Standard werden in Kapitel 8.3.3 erläutert.

2.5.1 Personenwagen

Allgemeine Anforderungen

- Befindet sich der Innenspiegel in Kopfhöhe, so soll er, wenn auf die Spiegelfläche eine Kraft von 400 N in Fahrzeuginnenrichtung wirkt oder nicht mehr als 45 ° davon abweicht, zerbrechen oder nachgeben, ohne scharfe Kanten zu hinterlassen.

Spiegelgeometrie

- Der Innenspiegel muss plan sein.
- Der fahrerseitige Außenspiegel muss plan, der beifahrerseitige Außenspiegel, falls vorhanden, muss plan oder konvex sein.

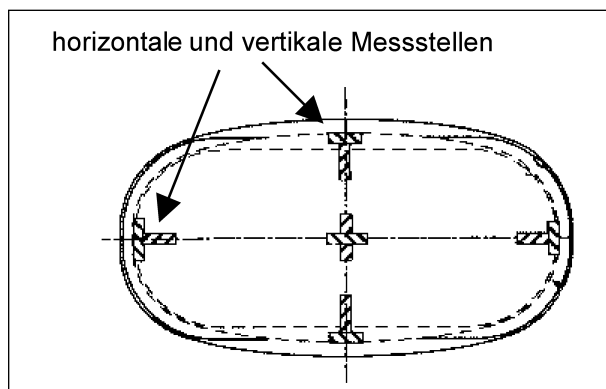


Bild 2.1: Messstellen zur Bestimmung des mittleren Krümmungsradius von Konvexspiegeln [30].

- Konvexspiegel müssen bestimmte Mindestkriterien bezüglich Krümmungsradien erfüllen. Der mittlere Krümmungsradius wird durch Mittelung von zehn Krümmungsradien bestimmt, die an fünf Messstellen (jeweils horizontal und vertikal) mit einem Sphärometer nach vergleichbarem Verfahren wie in der ECE/EG-Regelung aufgenommen werden (s. Bild 2.1). Ober- und Untergrenze des mittleren Radius liegen bei 1.651 mm bzw. 889 mm. Sie müssen die Aufschrift: „Objects in Mirror Are Closer Than They Appear“ tragen, übersetzt: „Objekte im Spiegel sind näher als sie erscheinen.“
- Die Spiegel müssen so groß sein, dass die erforderlichen Sichtfelder ermöglicht werden, s. Kapitel 8.3.3.

Anbringung

Auf der Fahrerseite ist ein planer Außenspiegel obligatorisch, auf der Beifahrerseite kann ein planer oder konvexer Außenspiegel befestigt werden. Dieser ist zwingend notwendig, wenn der Innenspiegel das erforderliche Sichtfeld nicht ermöglicht.

Anforderungen an Sichtfelder

Der Innen- und der fahrerseitige Außenspiegel müssen bestimmte Sichtfelder ermöglichen, die den europäischen Regelungen gleichen, s. Kapitel 8.3.3.

Obwohl die Außenspiegel an der Beifahrerseite plan oder konvex sein sollen, bietet Saab als einziger Hersteller bei Modellen für den US-amerikanischen Markt auf der Beifahrerseite serienmäßig einen teilasphärischen Spiegel an. Die Autoren dieser Studie konnten bis zum Druck dieses Dokuments nicht ermitteln, aufgrund welcher Regelung dies zulässig ist.

2.5.2 Krafträder

Für Krafträder sind die Anforderungen so, dass ein Spiegel gefordert wird, der entweder plan oder konvex ist und bei dem die horizontale Mittellinie nicht weiter als 279 mm von der Fahrzeugmitte entfernt sein darf. Die Fläche planer Spiegel soll nicht kleiner als 8.065 mm² sein und die von konvexen sind kleiner als 6.450 mm². Die Krümmungsradien sollen zwischen 508 mm und 1.524 mm liegen.

2.5.3 Andere Fahrzeuge

Für andere Fahrzeuge wie Lastwagen und Busse werden plane Spiegel gefordert, die jeweils eine Fläche von 323 cm² aufweisen und eine ausreichende Sicht in den rückwärtigen Raum liefern.

Für Schulbusse werden Spiegelsysteme gefordert, die strenge Anforderungen an die rückwärtige Sicht erfüllen müssen. Im Näheren soll hierauf nicht eingegangen werden.

2.6 Weitere Staaten

2.6.1 Kanada

Kanadas Sicherheitsstandards stimmen zu großen Teilen mit denen der USA überein. Eine Abweichung ist beispielsweise die, dass in Kanada keine Airbags für die Pkw-Sicherheit vorgeschrieben sind. Auch hier greift das System der Selbstzertifizierung.

Der CMVSS 111 [17] (Rückspiegel) zeigt nur geringe Abweichungen zum FMVSS 111 [30] auf. Speziell für Pkw sind die Anforderungen an Innen- und Außenspiegel sowie deren Anbringung und an erforderliche Sichtfelder sehr ähnlich. Dies bedeutet, dass ein planer Innenspiegel und ein planer Außenspiegel obligatorisch sind. Ein planer oder konvexer beifahrerseitiger Außenspiegel ist vorgeschrieben, wenn der Innenspiegel das erforderliche Sichtfeld nicht ermöglicht. Der mittlere konvexe Krümmungsradius soll zwischen 890 mm und 1800 mm liegen. Bei Krafträdern werden anders als in der FMVSS 111 [30] zwei Außenspiegel vorgeschrieben, die symmetrisch zur Mittellinie des Fahrzeugs angebracht werden. Zudem unterscheiden sich die mittleren Krümmungsradien bei konvexen Spiegeln sowie die Mindestspiegelflächen in geringem Maße. Spiegel mit zusätzlichem asphärischem Teil sind in dieser Regelung nicht vorgesehen.

2.6.2 Australien

ADR 14 [1], Teil der Motor Vehicle Standards Act, ist seit 1988 auf Neufahrzeuge anzuwenden. Ähnlich der ECE-Regelungen werden Fahrzeuge hier in die Kategorien L (Zwei- und Dreiräder), M (Fahrzeuge zur Personenbeförderung) und N (Nutzfahrzeuge) unterteilt. Ein weiterer ergänzter Buchstabe spezifiziert die Fahrzeuge näher, wie z. B. MA (Personenwagen), MD (kleiner Omnibus) oder LA (Moped), LC (Motorrad). Abgesehen von der Definition der Fahrzeugkategorien lehnt sich dieser Standard dennoch sehr stark an den amerikanischen Standard (FMVSS 111 [30]) an. Für alle Fahrzeuge zur Personenbeförderung unter 3,5 t Gesamtgewicht mit weniger als 12 Sitzplätzen, worunter auch Pkw und Dreiräder fallen, werden die gleichen allgemeinen Anforderungen, Anbringung und Sichtfelder gefordert. Es wird lediglich der Mindestkrümmungsradius bei konvexen Spiegeln mit 1.200 mm angegeben. Bei Bussen und Lkw muss auf jeder Seite mindestens ein Spiegel angebracht werden, der 150 mm bis 230 mm über die Gesamtbreite des Fahrzeugs hinausragt. Die Mindestspiegelfläche wird mit 150 cm² angegeben. Es gelten auch bei diesen Fahrzeugen die Bedingungen, dass der fahrerseitige Spiegel plan und der Beifahrerseitige Spiegel plan oder konvex sein muss. Für alle zweirädrigen Krafräder werden zwei symmetrisch angeordnete identische Spiegel gefordert, die Mindestspiegelflächen von 80 cm² (Planspiegel) oder 64,5 cm² (Konvexspiegel) haben. Bezüglich konvexer Spiegelgeometrie dürfen bei allen Fahrzeugen die mittleren Mindestkrümmungsradien nicht unter 1.200 mm liegen. Die Bestimmung des Letzteren ist identisch mit der in der amerikanischen Regelung.

Als Alternative werden in der australischen Regelung die ECE 46 und ECE 81 angegeben mit der Einschränkung, dass Innenspiegel und fahrerseitige Außenspiegel plan sein müssen. Bei Zweirädern müssen die Mindestspiegelflächen nach ADR 14 [1] beachtet werden.

2.7 Übersicht

In der Übersicht in Tabelle 2.1 werden die Regelungen der EG/ECE, der FMVSS und der ADR bezogen auf Pkw in Hinblick auf Spiegeltyp und Anbringung gegenübergestellt. Es ist darauf zu achten, dass der Begriff „Pkw“ in den unterschiedlichen Rechtssystemen verschieden definiert wird. Die Schnittmenge

bilden Fahrzeuge, die einschließlich dem Fahrer bis zu neun Personen befördern können.

Im Vergleich zu den Regelungen der ECE/EG ist der Umfang an Anforderungen an Rückspiegel für Neufahrzeuge in den USA sehr gering. In dem FMVSS 111 [30] fehlen im Vergleich zur UN/ECE 46 für Fahrzeugkategorien nach FMVSS folgende Punkte:

Allgemein

- Schlagprüfung der Spiegelfläche und Biegeprüfung des Gehäuses von Innen-/Außenspiegel
- Übereinstimmung mit der Produktion, Gewährleistung einheitlicher Qualität

Pkw

- Sichtfelddefinition Außenspiegel Beifahrerseite

Lkw/Busse

- Nahbereichs-/Großwinkelaußenspiegel für Sichtfelder nach EG/ECE
- Sichtfelddefinition für Hauptaußenspiegel

Krafräder, Dreiräder

- Sichtfelder
- Innenspiegel (Dreiräder) mit Größe der Spiegelfläche

2.8 Pflichten des Fahrers

Paragraf 1 der StVO fordert, dass jeder Verkehrsteilnehmer sich so zu verhalten hat, dass kein Anderer geschädigt, gefährdet und nach den Umständen behindert oder belästigt wird. Eine Gefährdung anderer muss somit beim Überholen, Vorbeifahren und Abbiegen ausgeschlossen werden. Wie dieser Zustand erreicht wird, wird hierin nicht genauer erläutert. Die Fahrschulen, die an dieser Stelle großen Einfluss auf die Umsetzung des § 1 der StVO haben, lehren nach der Fahrschülerausbildungsverordnung, die in den entsprechenden Gesetzestexten verankert ist.

Bezüglich Abbiege- und Überholvorgängen wird gefordert, dass zunächst ein Blick in den Innenspiegel, danach ein Blick in den gegebenen Außenspiegel und abschließend ein Schulterblick nötig sind, um die Lage richtig einschätzen zu können und dann zu handeln.

	Deutschland/EG 71/127/EWG [22]	Neue EG-Spiegelrichtli- nie 2003/97/EG [20]	USA FMVSS 111 [30]	Australien ADR 14 [1]
Innenspiegel				
Typ	plan oder konvex mit $r \geq 1.200$ mm	plan oder konvex mit $r \geq 1.200$ mm	nur plan	nur plan
Anbringung	vorgeschrieben, außer wenn keine Sicht nach hinten möglich	vorgeschrieben, außer wenn keine Sicht nach hinten möglich	vorgeschrieben	vorgeschrieben, außer wenn keine Sicht nach hinten möglich
Sichtfelddefinition	ja, s. Kapitel 8	ja, s. Kapitel 8	ja, s. Kapitel 8	ja, identisch USA
Mindestmaße	ja, s. 2.2.1	ja, s. 2.2.1	keine	keine
Außenspiegel Fahrerseite				
Typ	plan oder konvex mit $r \geq 1.200$ mm	plan oder konvex mit $r \geq 1.200$ mm	nur plan	nur plan
Anbringung	vorgeschrieben	vorgeschrieben	vorgeschrieben	vorgeschrieben
Mindestmaße	ja, s. 2.2.1	ja, s. 71/127/EWG	keine	keine
zusätzlicher asphärischer Teil	zulässig	zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
Außenspiegel Beifahrerseite				
Typ	plan oder konvex	plan oder konvex	plan oder konvex mit $889 \leq r \leq 1.651$ mm	plan oder konvex
Anbringung	erforderlich, wenn Innenspiegel Sichtfeld nicht ermöglicht	vorgeschrieben	erforderlich, wenn Innenspiegel Sichtfeld nicht ermöglicht	erforderlich, wenn Innenspiegel Sichtfeld nicht ermöglicht
Mindestabmaße	ja, wie Fahrerseite	ja, s. 71/127/EWG	keine	keine
zusätzlicher asphärischer Teil	zulässig	zulässig	nicht zulässig (vgl. jedoch 2.5.1)	nicht zulässig

Tab. 2.1: Übersicht der wichtigsten Vorschriften bezüglich Rückspiegel an Pkw

Auf die Bitte, eine Stellungnahme bezüglich Bedeutung und Erfahrungen mit teilasphärischen Außenspiegeln sowie Alternativsystemen (Videosysteme) abzugeben, antwortete der Bundesvorsitzende des Fahrlehrerverbands in einem Schreiben vom 04.02.2004 wie folgt:

„Der Vorteil teilasphärischer Spiegel ist für die Fahrlehrer unbestritten. Die Risiken durch Fahrzeuge, die sich im sog. toten Winkel aufhalten, können dadurch erheblich ausgeglichen werden. Allerdings ist eine gewisse Gewöhnung an die etwas verzerrte Darstellung erforderlich. Dies fällt umso mehr auf, wenn mit mehreren unterschiedlichen Fahrzeugen mit unterschiedlicher Darstellung gefahren wird. Größe des Spiegels und Darstellung werden dann nicht sofort gleich gut wahrgenommen. Es bedarf einer gewissen Anpassungszeit an die jeweiligen Darstellungsformen. Teilweise stören Spiegelgehäuse den äußersten Bereich, weil die Spiegel zu tief im Gehäuse eingebaut sind.

Moderne Videosysteme, in denen der rückwärtige Verkehrsraum elektronisch abgetastet wird und dem Fahrer auf Display zur Verfügung gestellt wird,

werden grundsätzlich positiv gesehen. Insbesondere im Fahrschulbereich eröffnen sich ungeahnte Möglichkeiten, die Doppelspiegeleinrichtungen zu vermeiden.

Gerade die Doppelspiegelanlagen an Lkw und Bussen haben viele Nachteile, die wir kurz ansprechen wollen: Sie verwirren teilweise den Fahrer, weil er nicht immer sofort in den auf ihn eingerichteten Spiegel schaut. Die Spiegelflächen bieten eine so große Windangriffsfläche, dass die Spiegelarme teilweise nicht mehr in der Lage sind, dem Winddruck bei höheren Geschwindigkeiten und entsprechenden Windverhältnissen standzuhalten. Sie klappen unbeabsichtigt ein. Die Spiegel klappen nicht mehr ein, weil die Arretierung so festgezogen worden ist, dass auch bei stärkeren Streifenberührungen, die Spiegel nicht mehr wegklappen und brechen.

Insofern wird den elektronischen Beobachtungssystemen eine besondere Bedeutung zukommen. Sicher muss dabei gewährleistet werden, dass sowohl in der Höhe als auch bezüglich der Verschmutzung der Objektive ausreichend Aufmerksamkeit gewidmet wird.“

3 Ausrüstungsstand

3.1 Im Verkehr

Um den derzeitigen Ausrüstungsstand an Außenspiegeln an Pkw in Deutschland zu ermitteln, wurden auf öffentlichen Parkplätzen in der Region Trier stichprobenartig Fahrzeuge auf ihre Außenspiegel hin untersucht. In Betracht kamen nur Fahrzeuge, die der EG/ECE-Kategorie M₁ entsprachen und ein deutsches Kennzeichen besaßen. Eine gewisse Unsicherheit in der Bestimmung besteht darin, dass der Pkw-Bestand regional verschieden ist. Neben der Stichprobenuntersuchung bestand die Möglichkeit, anhand der Zulassungszahlen der Pkw und deren Ausstattung den Ausrüstungsstand zu bestimmen. Da Hersteller teilasphärische Spiegeltypen oftmals als Sonderausstattung angeboten haben und noch anbieten und diese Tatsache eine sehr große Unsicherheit in die Untersuchung einbringt, wurde die Stichprobenuntersuchung vorgezogen.

3.1.1 Spiegeltypen

Pkw

Wie aus Tabelle 3.1 ersichtlich besitzt ungefähr die Hälfte aller Fahrzeuge einen teilasphärischen Spiegel auf der Fahrerseite (49,5 %). Liegt hier dieser Spiegeltyp vor, so ist auf der Beifahrerseite entweder ein konvexer oder ebenfalls ein teilasphärischer Spiegel angebracht. Diese Werte decken sich sehr gut mit Annahmen der Spiegelhersteller [81].

Bereits de VOS [85] (2000) hat eine solche Untersuchung mit den in den Niederlanden in Verkehr befindlichen Fahrzeugen angestellt. Durch die EG-Typgenehmigung genügen seit einigen Jahren auf dem niederländischen Markt neu zugelassene Pkw den gleichen Anforderungen wie Pkw in der BRD. Da anzunehmen ist, dass der Fahrzeugbestand an Modellen im Vergleich zum deutschen Markt verschieden ist, lässt sich daraus nur unter Vorbehalt eine tendenzielle Entwicklung ableiten (s. Tab. 3.1). Bis auf die Tatsache, dass bei de VOS Fahrzeuge auffielen, die keinen beifahrerseitigen Außenspiegel besitzen, sind keine weiteren Kombinationen (z. B. planer Spiegel Fahrerseite, teilasphärischer Spiegel Beifahrerseite) entdeckt worden. Bezüglich der Entwicklung treten teilasphärische Spiegel auf Fahrer- und Beifahrerseite immer häufiger auf, plane sowie konvexe Spiegelgläser werden immer seltener. Speziell die Kombination teilasphärischer

		Beifahrerseite				
		plan	konvex	teil- asphärisch	kein	gesamt
Fahrerseite	plan	0,5 (3,1)	27,9 (39,6)	0 (0)	0 (0)	28,4 (42,7)
	konvex	0 (0)	22,1 (31,3)	0 (0)	0 (0)	22,1 (34,4)
	teil- asphärisch	0 (0)	45,2 (20,8)	4,3 (2,1)	0 (0)	49,5 (22,9)
	gesamt	0,5 (3,1)	95,2 (91,7)	4,3 (2,1)	0 (3,1)	100 (100)

Tab. 3.1: Ausrüstungsstand der Fahrzeug-Klasse M₁, Stichprobe mit n = 400 Fahrzeugen, Region Trier 2004 (De VOS, 2000 [85], n = 96), in %

Spiegel auf der Fahrerseite und konvexer Spiegel auf der Beifahrerseite verdrängt die Kombinationen plan/konvex und konvex/konvex. Da aus der Vergangenheit keine vergleichbaren Untersuchungen aus Deutschland bekannt sind, ist die Entwicklung nicht quantitativ darstellbar.

Lkw, Busse

Betrachtet man Lkw (Klasse N₂ über 7,5 t, N₃) im Straßenverkehr so fällt auf, dass diese zwangsläufig mit zwei Hauptaußenspiegeln (Gruppe II) ausgerüstet sind. Die auf der rechten Seite vorgeschriebenen Weitwinkelaußenspiegel (Gruppe IV) finden sich bei den meisten Fahrzeugen wieder. Eine Ausnahme bilden ältere Fahrzeuge, da in deren Baujahr ein solcher Spiegel noch nicht vorgeschrieben wurde. Ungefähr die Hälfte der Fahrzeuge besitzt auf der Fahrerseite einen Spiegel der Gruppe IV. All diese Spiegel sind sphärisch konvex. Es ist nicht bekannt, dass an einem Fahrzeug der Klasse N₂ über 7,5 t oder N₃ ein teilasphärischer Spiegel verbaut wird. An Bussen (Klasse M₂) findet man teilasphärische Spiegel häufig bei Hauptaußenspiegeln (Gruppe II). Der asphärische Anteil befindet sich jedoch nicht wie beim Pkw an der Außenseite, sondern an der Unterseite. Einen Schnitt durch einen solchen Spiegel gibt Bild 1.3 wieder (x-y-Ebene verläuft senkrecht durch die Mitte des Spiegels).

3.1.2 Geometrie

Bei der Ermittlung des Ausrüstungsstandes der Pkw wurden gleichzeitig die projizierten Hauptabmessungen der Spiegel ermittelt, d. h. die Breite B, die Höhe H sowie – falls vorhanden – die Breite B_{as} des asphärischen Teils. Zudem wurde der Krümmungsradius R des sphärischen Teils mit einem Sphärometer erfasst (s. Bild 3.1).

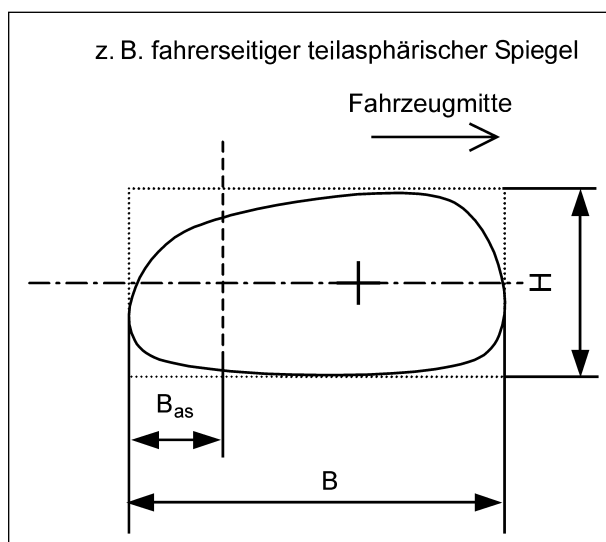


Bild 3.1: Ansicht auf ein fahrerseitiges Spiegelglas (Rechtsverkehr)

Da die Spiegelgläser von der Form häufig von den – zumindest in der Vergangenheit gängigeren – Rechteckformen abweichen, sind die Größen wie folgt definiert:

An der mit ‚+‘ gekennzeichneten Stelle (ungefähr der Schwerpunkt des sphärischen Teils) wurde horizontal und vertikal der Krümmungsradius mit einem Sphärometer bestimmt, woraus sich ein Mittelwert berechnen lässt. Bei der Herstellung konvexer Spiegel werden Basiskrümmungsradien angestrebt, die z. B. 1.400 oder 2.000 mm betragen. Fertigungsbedingt weichen die gemessenen Werte jedoch um bis zu +/- 10 % davon ab, was die Messung an typgleichen Spiegeln zeigt (z. B. Golf IV: 1.920 mm und 2.050 mm). Um eine Verteilung der Krümmungsradien zu erstellen, wurden die bestimmten Mittelwerte der einzelnen Spiegel auf volle Hunderter-Beträge gerundet ($x - 50$ und $x + 49$ entspricht x , wobei $x = 1.200, 1.300, \dots$).

Mittelwerte (B , H , B_{as}) und Standardabweichung m. F. für folgende Spiegelkombinationen:

- Fahrzeuge mit planem Fahrerspiegel, konvexem Beifahrerspiegel P/K ($n = 112$)

Fahrerseite

B: 161,3 mm m. F. 14,3 mm

H: 98,6 mm m. F. 8,6 mm

Beifahrerseite

B: 160,2 mm m. F. 15,7 mm

H: 100,0 mm m. F. 9,1 mm

- Fahrzeuge mit konvexem Spiegel Fahrerseite, konvexem Spiegel Beifahrerseite K/K ($n = 88$)

Fahrerseite

B: 162,3 mm m. F. 15,2 mm

H: 104,2 mm m. F. 20,8 mm

Beifahrerseite

B: 162,1 mm m. F. 15,3 mm

H: 104,2 mm m. F. 20,8 mm

- Fahrzeuge mit teilasphärischem Fahrerspiegel, konvexem Beifahrerspiegel AS/K ($n = 181$)

Fahrerseite

B: 164,9 mm m. F. 10,3 mm

H: 100,5 mm m. F. 10,3 mm

B_{as} : 44,0 mm m. F. 6,2 mm

Beifahrerseite

B: 159,9 mm m. F. 16,1 mm

H: 100,7 mm m. F. 10,4 mm

- Fahrzeuge mit beidseitig teilasphärischem Spiegel AS/AS ($n = 17$)

Fahrerseite

B: 160,3 mm m. F. 15,6 mm

H: 100,3 mm m. F. 10,2 mm

B_{as} : 44,2 mm m. F. 8,2 mm

Beifahrerseite

B: 159,9 mm m. F. 16,1 mm

H: 100,7 mm m. F. 10,4 mm

B_{as} : 44,2 mm m. F. 8,2 mm

Exemplarisch für einen Transporter wird der Gruppe-II-Spiegel eines Mercedes-Benz-Sprinters (Klassen N_1 oder N_2 aufgrund unterschiedlicher Größen) näher betrachtet. Dieser ist auf der Fahrerseite teilasphärisch und seine Höhe beträgt 245 mm und die Breite B ist 150 mm. Die Breite des asphärischen Teils B_{as} beläuft sich auf 41 mm. Der Radius des konvexen Teils beträgt 2000 mm. Der Beifahrerspiegel ist symmetrisch zum Fahrerspiegel ausgeführt. Andere vergleichbare Fahrzeuge (Ford Transit, Volkswagen Transporter) haben zur Lösung der Toten-Winkel-Problematik unterhalb des konvexen Hauptspiegels einen

konvexen Zusatzspiegel (Krümmungsradien ca. 500 mm, Höhe ca. 30 mm -40 mm), der die Sicht in den toten Winkel erlaubt. Die Breiten sind mit ca. 150 mm bis 160 mm ähnlich den Fahrzeugen der Klasse M₁, die als Pkw angeboten werden.

Bezüglich der Fahrzeugklasse N₃ wurden stichprobenartig an drei Fahrzeugen die Spiegel der Gruppe II und IV vermessen. Für einen untersuchten MAN, Modell TGA XXL, der auf Fahrer- und Beifahrerseite mit je einem solchen Spiegel ausgestattet war, ergeben sich folgende Größen:

- Gruppe II, Krümmungsradius $r = 2.000$ mm
 B: 170 mm
 H: 370 mm
- Gruppe IV, Krümmungsradius $r = 450$ mm
 B: 170 mm
 H: 160 mm

Man kann erwarten, dass die Streuungen der Spiegel dieser Gruppen nicht sehr groß sind, was sich nicht zuletzt auf die Angaben von Spiegelherstellern [81] stützt. Diese produzieren für diese Klasse fast ausschließlich Spiegel, deren Breiten zwischen 150 mm und 180 mm und deren Höhen zwischen 350 mm und 400 mm liegen (Gruppe II). Breiter dürfen die Spiegel nicht sein, da Fahrzeuge der

Klasse M₃ und N₃ die maximal zulässige Breite von 2.550 mm nahezu ausnutzen und Außenspiegel nicht mehr als 200 mm über den Fahrzeugumriss hinaus ragen dürfen (vgl. 2.2.1).

Generell ist festzustellen, dass die linken (Fahrerseite) und rechten (Beifahrerseite) Spiegelgehäuse

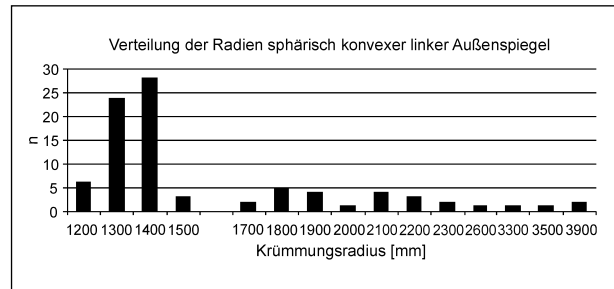


Bild 3.4: Sphärisch konvexe linke Pkw-Außenspiegel

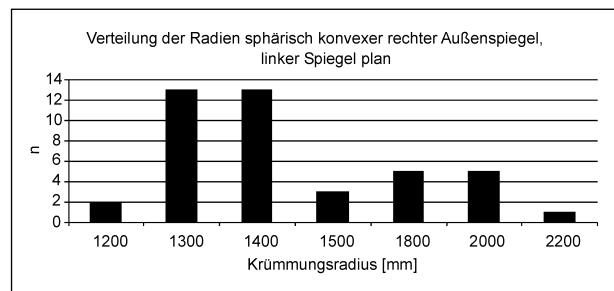


Bild 3.5: Sphärisch konvexe rechte Pkw-Außenspiegel, linker Spiegel plan

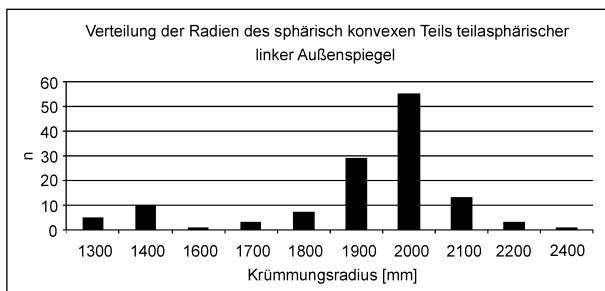


Bild 3.2: Sphärisch konvexer Teil teilasphärischer linker Pkw-Außenspiegel

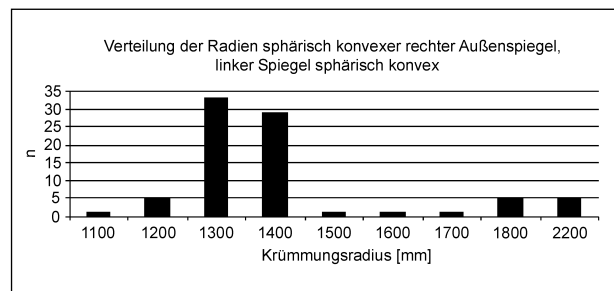


Bild 3.6: Sphärisch konvexe rechte Pkw-Außenspiegel, linker Spiegel sphärisch konvex

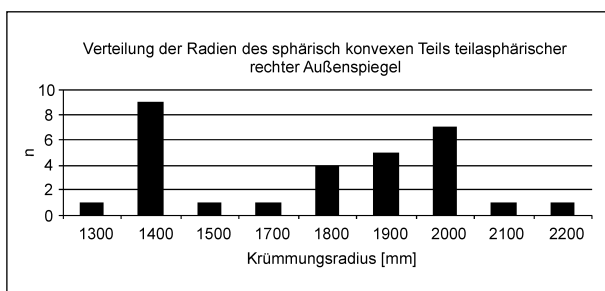


Bild 3.3: Sphärisch konvexer Teil teilasphärischer rechter Pkw-Außenspiegel

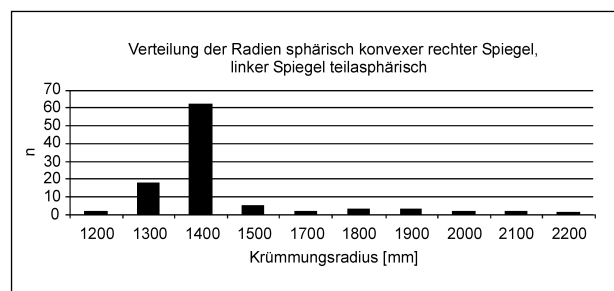


Bild 3.7: Sphärisch konvexe rechte Pkw-Spiegel, linker Spiegel teilasphärisch

meist symmetrisch gestaltet (siehe hierzu die jeweiligen Mittelwerte von B) sind. Bei genauerer Untersuchung stellt man fest, dass die zwischen ca. 1994 und 1998 auf dem Markt erschienenen Modelle von Audi (A3, A4, A6, A8) und Volkswagen (Lupo, Golf IV, Passat B5) und einigen weiteren Fahrzeugen des Volkswagenkonzerns (Seat Arosa, Seat Ibiza und Leon) hier eine Besonderheit darstellen. Die beifahrerseitigen Spiegel (stets konvex) dieser Fahrzeuge sind in der Breite um ca. 30 % kleiner als die der Fahrerseite (stets teilasphärisch).

Werden die Fahrzeuge nach den auftretenden Spiegelkombinationen (s. Tabelle 3.1) sortiert und eine Mittelwertbildung der gemessenen Werte (Breite B, Höhe H, Breite asphärischer Teil B_{as}) durchgeführt, so zeigt sich, dass sich die Spiegel bei dieser Betrachtung nur geringfügig unterscheiden. Fahrzeuge mit planem oder konvexem Spiegelglas haben in etwa gleiche Abmessungen wie teilasphärische Spiegel, wobei die Standardabweichungen zwischen 10 mm und 20 mm liegen, was auf unterschiedliche Fahrzeugklassen zurückzuführen ist. Bei der Kombination teilasphärisch/konvex weichen die Breiten stärker voneinander ab, was aus der mitberücksichtigten Anzahl an Volkswagen-Fahrzeugen resultiert.

Betrachtet man innerhalb einer Spiegelkombination (z. B. konvex/konvex) unterschiedliche Größenklassen von Fahrzeugen, so zeigt sich, dass größere Fahrzeuge tendenziell eher größere Spiegel besitzen (Ford Galaxy: 185 mm, Mazda 626: 170 mm), während Kleinwagenspiegel mit der Breite tendenziell unter 160 mm liegen (Ford Ka: 140 mm, Mazda 121: 140 mm). Gegenbeispiele wären MCC Smart: 170 mm oder Mini Cooper: 170 mm. Die Höhe liegt gemittelt bei allen Kombinationen um 100 mm.

Fahrzeuge mit erhöhter Sitzposition oder erhöhtem Aufbau, wie Geländewagen oder unter der Klasse M_1 geführte Fahrzeuge, die als Kleintransporter (Klasse N_1) angeboten werden, haben breitere und auch überdurchschnittlich hohe konvexe Spiegel (Landrover Freelander: Breite 190 mm, Höhe 135 mm, Mercedes-Benz Vito: Breite 150 mm, Höhe 195 mm), die jedoch nicht so groß sind, dass sie der Gruppe II entsprechen (vgl. Kapitel 2.2.1), obwohl diese auch angebracht werden dürften. Durch diese Ansammlung größerer Spiegel ist die bei der Kombination konvex/konvex höhere Streuung zu begründen. Lässt man die auffallend größeren Spiegel außen vor, so gleichen der Mittelwert

und die Standardabweichung in etwa denen der anderen Kombinationen.

Bezüglich der Krümmungsradien ist festzustellen, dass diese für sphärisch konvexe Spiegel auf Fahrer- und Beifahrerseite zwischen 1.300 mm und 1.400 mm liegen. Bei teilasphärischen Spiegeln auf der Fahrerseite liegen die Krümmungsradien des konvexen Teils verstärkt bei 2.000 mm, wofür es historisch bedingte Gründe gibt [81]: Bei Einführung der ersten asphärischen Anteile am Fahrzeugaußenspiegel wollte man nicht auf eine dem planen nähere Hauptspiegelfläche verzichten. Die Fertigungsverfahren haben nicht zugelassen, einen planen Spiegel mit einem asphärischen Anteil herzustellen. Eine gewisse Konvexität musste vorhanden sein, sodass viele Hersteller einen Basisradius von 2.000 mm wählten. Obwohl später durch bessere Fertigungsverfahren kleinere Krümmungsradien möglich waren, kam man in der Regel nicht davon ab, was auch die Untersuchung von de VOS (2000) [85] zeigt.

Die konvexen Radien teilasphärischer Beifahrerspiegel, die nur bei Fahrzeugen neueren Typs auftreten, bündeln sich stark um 1.400 mm. Alle diese Fahrzeuge haben auch gleichzeitig teilasphärische Spiegel mit gleichen Radien auf der Fahrerseite. Hieraus lässt sich die These aufstellen, dass Hersteller immer stärker Radien um 1.400 mm verwenden werden. Dies wird durch ein Gespräch mit einem Spiegelglashersteller gestützt [81].

Alle untersuchten Fahrzeuge bis auf eins erfüllten die gesetzlichen europäischen Bestimmungen bezüglich Krümmungsradien. Ein Ford Probe hatte auf Fahrer- und Beifahrerseite konvexe Spiegel mit einem Krümmungsradius von 800 mm.

3.1.3 Sichtfelder

Der Sichtwinkel, der sich einem Beobachter bei Blick in einen Spiegel offenbart, ist in erster Linie abhängig von der Spiegelgeometrie und der Auge-Spiegel-Distanz. Ein größerer Spiegel sowie ein kleinerer Radius (bei sphärisch konvexen Spiegeln) führen zwangsläufig zu einem vergrößerten Sichtfeld/Sichtwinkel. Bei der ambinokularen Sicht des Fahrzeugführers in den/die Außenspiegel wird ein Sichtkegel erzeugt, der in den rückwärtigen Bereich verläuft.

In der Draufsicht (Sicht senkrecht auf die Fahrbahn) sind die Konturen des Kegels erkennbar, die sich in

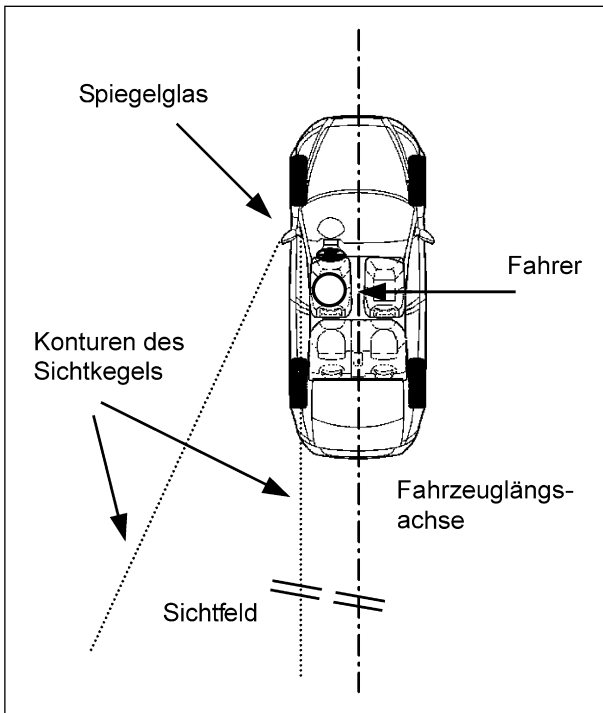


Bild 3.8: Definition des Sichtfelds

einer Skizze darstellen lassen. Der durch die Konturen eingeschlossene Winkel wird hier als Sichtwinkel definiert, der Bereich wird als Sichtfeld bezeichnet (s. Bild 3.8).

In Tabelle 3.2 sind für eine realistische räumliche Anordnung von Fahrerspiegeln und Augenpunkten des Fahrers exemplarisch Sichtwinkel (ambinokulare Sicht) dargestellt, die für eine durchschnittliche räumliche Anordnung von Augenpunkten und Spiegeln gelten. Bei teilasphärischen Spiegeln erstrecken sich die Sichtwinkel von 26,3° (für eine Gesamtspiegelbreite von 120 mm und eine Breite des asphärischen Teils von 30 mm) bis 46,8° (für eine Gesamtspiegelbreite von 200 mm und eine Breite des asphärischen Teils von 50 mm). Der Sichtwinkel für plane Spiegel liegt noch weiter unter denen der sphärischen Spiegel, in der Literatur findet man Werte zwischen 13° und 15°. Unter Berücksichtigung der Untersuchungen, die in Kapitel 3.1.2 dargestellt wurden, lässt sich in dieser Tabelle ein Bereich markieren, der theoretisch die Sichtfelder für eine Vielzahl von Fahrzeugen wiedergibt (schätzungsweise 2/3 der Fahrzeugpopulation). Realistische Sichtwinkel für teilasphärische Spiegel liegen demnach zwischen 30° und 37° und für sphärische Spiegel zwischen 21,2° und 22,3°.

Gesamtbreite	teilasphärische Spiegel, Breite asphärischer Teil B_{as}					konvexer Spiegel
	30 mm	35 mm	40 mm	45 mm	50 mm	
120 mm	26,3°	28,6°	31,3°	34,3°	37,2°	19,5°
130 mm	26,9°	29,2°	31,9°	34,9°	38,2°	20,1°
140 mm	27,5°	29,8°	32,5°	35,5°	38,8°	20,6°
150 mm	28,0°	30,4°	33,0°	36,1°	39,4°	21,2°
160 mm	28,6°	30,9°	33,6°	36,6°	39,9°	21,7°
170 mm	29,2°	31,6°	34,2°	37,2°	40,6°	22,3°
180 mm	29,8°	32,1°	34,8°	37,8°	41,1°	22,8°
190 mm	30,4°	32,7°	35,4°	38,4°	41,7°	23,4°
200 mm	30,9°	33,3°	36,0°	39,0°	42,3°	24,6°

Tab. 3.2: Sichtfeld in Grad für unterschiedliche Gesamtspiegelbreiten bei teilasphärischen und rein konvexen Spiegeln, konvexer Krümmungsradius bei allen Spiegeln 2.000 mm (mit freundlicher Genehmigung von Flabeg GmbH & Co. KG, Furth im Wald, Deutschland)

Um den Einfluss der Auge-Spiegel-Distanz zu quantifizieren, d. h., welchen Sichtwinkelverlust eine große Person hat, deren Augenpunkte weiter vom Spiegel entfernt sind, wurde ein Modell erstellt. In dem rechnergestützten Konstruktionsprogramm CATIA V4 steht das Modul ‚RAMSIS‘ zur Verfügung, mit dem in einem virtuellen, dreidimensionalen Raum ein Menschmodell generiert wird. Konstruiert man zudem eine Spiegelfläche in diesen Raum, lässt sich der Sichtkegel, der bei einem ambinokularen Blick des Modells in den Spiegel entsteht, grafisch darstellen und daraus ein Sichtwinkel ableiten.

Person	Sichtwinkel [°]
5%-Frau	34,9
50%-Mann	33,7
95%-Mann	33,3

Tab. 3.3: Sichtwinkel für unterschiedliche Personen in einem Kleinwagen mit teilasphärischem Spiegel

An einem Realfahrzeug wurden an unterschiedlichen Personen Auge-Spiegel-Distanzen ausgemessen, die in das Programm übertragen wurden. Die Personen wurden so gewählt, dass ihre Größen in etwa denen einer 5%-Frau, einem 50%-Mann und einem 95%-Mann entsprachen. Es zeigt sich, dass der Einfluss der Größe der Person einen geringen Einfluss auf den Sichtwinkel hat (vgl. Tabelle 3.3).

Durch die größere Auge-Spiegel-Distanz zum Beifahrerspiegel (ca. 1,30 m zu ca. Fahrerseite 0,60 m) wird hier ein kleinerer Sichtwinkel erwartet. Es wird

nun vorausgesetzt, dass der Beifahrerspiegel im Vergleich zum Fahrerspiegel vollständig symmetrisch ausgeführt und angeordnet ist (wie z. B. BMW, Mercedes-Benz). In der Simulation wurde hierbei (exemplarisch für das 50-%-Mann-Modell) nur noch ein Sichtwinkel von $26,8^\circ$ festgestellt (Fahrerseite 33,7 %).

Was in den theoretischen Betrachtungen nicht mit berücksichtigt wurde, ist die Sichtwinkelreduktion durch das Spiegelgehäuse. Fahrzeugspiegel, speziell die von Klasse-M₁-Fahrzeugen, werden in das Gehäuse eingelassen, damit gewährleistet wird, dass bei jeder möglichen Einstellung der Rand des Spiegels nicht über den des Gehäuses herausragt. Wie tief die Spiegel eingelassen sind, ist von Hersteller zu Hersteller verschieden.

Ein großer Fahrer muss den Spiegel so einstellen, dass er weit nach außen gerichtet ist. Dadurch wird – betrachtet man die Fahrerseite – am linken Rand des Spiegels ein Teil vom Spiegelgehäuse abgebildet. Bei kleineren Personen ist der Spiegel näher zum Fahrzeug gedreht, d. h., der Effekt wird abgemildert. Bei einem Versuch an einem Audi A8 (Baujahr 1996) wurde festgestellt, dass eine ca. 1,80 m große Person mit dem angebrachten teilasphärischen Spiegel einen Sichtwinkel von $28,0^\circ$ erzielte (Ausmessung des Sichtkegels). Die Person befand sich in normaler Sitzposition und stellte den Spiegel so ein, dass nur noch ein kleiner Teil des eigenen Fahrzeugs im Rückspiegel zu sehen war. Durch eine Drehung des Spiegelgehäuses und Neueinstellung des Spiegels durch den Fahrer (so, dass keine Sichteinschränkung durch das Spiegelgehäuse für den Fahrer sichtbar war) wurde ein Sichtwinkel von $34,6^\circ$ ermittelt, also eine Winkelreduktion von über 6° .

Bei teilasphärischen Spiegeln ist die Sichtfeldreduktion im Vergleich zu planen oder konvexen Spiegeln größer (wenn identische Spiegelgehäuse vorausgesetzt werden), da gerade am Abschluss des asphärischen Teils (äußerster Rand des Spiegels) der Krümmungsradius klein ist und hier pro Teilstück ein größerer Winkel abgebildet wird als bei einem gleich großen Teilstück eines planen oder konvexen Spiegels.

Die Sichtfelder von Fahrzeugen anderer Klassen (z. B. N₂ oder N₃) sollten ähnlich denen von Pkw sein, da vergleichbare Krümmungsradien mit 2.000 mm und Breiten mit ca. 170 mm (vgl. 3.1.2) vorhanden sind (verwendet man den Hauptaußenspiegel Gruppe II/III). Die Spiegel der Gruppe II von Lkw

sind darüber hinaus sehr hoch, was auf die Definition des Sichtwinkels keinen Einfluss hat. Unter ‚ähnlich‘ soll in diesem Zusammenhang verstanden werden, dass die Sichtwinkel nicht um weit mehr als 10° abweichen. Die bei Bussen verwendeten teilasphärischen Spiegel (asphärischer Teil an der Unterseite Spiegel der Gruppe II) ermöglichen eine größere Sicht in den Nahbereich.

3.1.4 Spiegeleinstellung

Untersuchungen an den Fahrzeugen von 26 Versuchspersonen sollten aufzeigen, wie sinnvoll deren Fahrer ihre Spiegel eingestellt haben bzw. wie viel sie von ihrem Fahrzeug im Rückspiegel erkennen. Die Untersuchung wurde bei willkürlich ausgesuchten Personen durchgeführt, die einen Parkplatz aufsuchten.

Untersucht wurden 26 Fahrer mit ihren Fahrzeugen, von denen 9 plane, 6 konvexe sowie 11 teilasphärische Spiegel auf der Fahrerseite aufwiesen. Auf der Beifahrerseite waren 24 Fahrzeuge mit kon-



Bild 3.9: Versuchsaufbau



Bild 3.10: Blick in den Außenspiegel

vexen und 2 mit teilasphärischen Spiegeln ausgestattet.

Die Gesetzgebung sieht zur Spiegeleinstellung keine Richtlinie vor, der Fahrlehrerverband empfiehlt jedoch den Außenspiegel so einzustellen, dass nur noch ein kleiner Teil des eigenen Fahrzeugs als Referenz sichtbar ist. Die gleiche Referenz wird von der University of Wisconsin in Madison proklamiert. PLATZER (1995) [72] sieht bei dieser Strategie jedoch bei planen Spiegeln den Nachteil, dass so die Gefahr des toten Winkels durch einen geringeren Sichtwinkel vergrößert wird. Eine ideale Spiegeleinstellung ergibt sich bei ihm, indem man die planen Außenspiegel so einstellt, dass das eigene Auto gerade nicht mehr sichtbar ist. Ein Nachteil einer solchen Spiegeleinstellung kann jedoch darin bestehen, dass das eigene Fahrzeug nicht mehr als Referenz dienen kann und die räumliche Zuordnung von anderen Verkehrsteilnehmern erschwert wird.

An den Fahrzeugen der Versuchspersonen wurde von dem Außenspiegel an unterhalb der Windschutzscheibe ein Maßband angebracht, welches zum Fahrzeugheck führt. Am Ende des Fahrzeugs wurde mittels eines Gestells ein zweites Maßband so positioniert, dass es sich in Höhe des Außenspiegels befindet, mit der Stoßstange abschließt und quer zur Fahrtrichtung verläuft. Der Fahrer bzw. die Versuchsperson hatte somit an beiden Rändern (links und rechts) des Spiegels die Maßbänder im Blick. An die Maßbänder wurde im Abstand von 100 mm eine Nummerierung in roter Farbe aufgebracht (s. Bild 3.9).

Die Versuchsperson wurde darauf hingewiesen ihre gewohnte Sitzposition einzunehmen und in den Außenspiegel zu blicken und die Zahlen auf den Bändern zu nennen, die gerade noch am Rand des Spiegels zu sehen sind. Mit Ermittlung des Abstands des hinteren Bandes zum Spiegel lässt sich aus den Angaben der Sichtwinkel bestimmen. Darüber hinaus wurden die Abmaße des Außenspiegels und der Krümmungsradius bestimmt.

Der Versuch ergab, dass 24 von 26 Versuchspersonen den Spiegel so eingestellt haben, dass sie einen Großteil ihres Fahrzeuges erkennen konnten.

Es ist festzustellen, dass die untersuchten Fahrer – unabhängig vom Spiegeltyp – prinzipiell dazu tendieren, einen Großteil ihres Fahrzeuges im Spiegel

gemessen	optimiert
plan	
16,3°	24,9°
konvex	
24,2°	32,2°
teilasphärisch	
29,4°	40,4°

Tab. 3.4: Gemessene und optimierte Sichtwinkel (Mittelwerte von 24 Versuchspersonen)

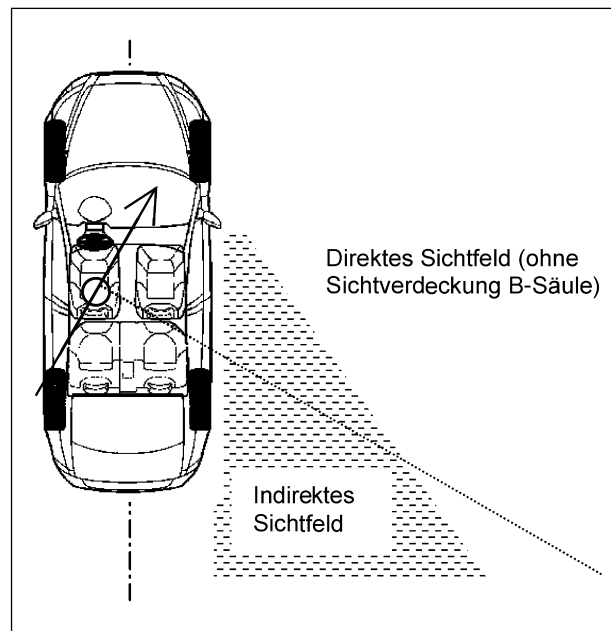


Bild 3.11: Direkte und indirekte Sicht bei Blick in Richtung des Beifahrerspiegels

zu erblicken. Als die Fahrer nach Anweisung ihre Spiegel so einstellten, dass sie nur noch einen kleinen Teil ihres Fahrzeuges erblickte, ließ sich ihr Sichtwinkel um bis zu 10° erhöhen (s. Tabelle 3.4).

Es wurde festgestellt, dass bei falscher Einstellung ein asphärischer Anteil den Sichtwinkelverlust kompensiert und eine vergleichbare Sicht wie ein gut eingestellter sphärisch konvexer Spiegel lieferte. Der teilasphärische Außenspiegel hat den Vorteil, dass er bei Falscheinstellung eine – nach subjektivem Ermessen bewertete – akzeptable Sicht ermöglicht, wohingegen mit einem planen Spiegel die Sicht sehr eingeschränkt wirkt.

Beim Blick in den Beifahrerspiegel wird die Problematik des toten Winkels dadurch herabgesetzt, dass beim Drehen des Kopfes in Richtung des Beifahrerspiegels ein Großteil des seitlichen Bereichs in das direkte Sichtfeld gebracht wird (s. Bild 3.11).

3.2 Neufahrzeuge

Durchbrach man Anfang der 60er Jahre in der BRD bei der Zahl der neu zugelassenen Pkw die Grenze von einer Million (1961 ca. 1,1 Mio.), so lag sie im Jahr 2002 bei 3,3 Mio. Im Jahr 2003 wurden ca. 3,2 Mio. Pkw neu zugelassen. Es wird jedoch erwartet, dass in den kommenden Jahren wieder Zuwächse zu verzeichnen sein werden (2005 ca. 3,7 Mio.). [10]

Im August 2003 wurde in Deutschland eine Zahl von 243.452 Pkw neu zugelassen, die sich auf 236 verschiedene Fahrzeugmodelle von über 36 Herstellern verteilt. Die ersten zehn Plätze, geordnet nach Fahrzeugmodellen, sehen exemplarisch wie in Tabelle 3.5 dargestellt aus.

Ermittelt man nun sukzessive für jedes Fahrzeugmodell den serienmäßigen Ausrüstungsstand bezüglich der Außenspiegel, so lässt sich Folgendes feststellen:

Es zeigt sich, dass alle neu zugelassenen Pkw einen Außenspiegel auf Fahrer- und Beifahrerseite besitzen. Während in den 90er Jahren teilasphärische fahrerseitige Außenspiegel in kleineren Fahrzeugklassen (Kleinwagen) als Sonderzubehör angeboten wurden (im Austausch mit planen oder sphärischen Spiegeln) und teilweise bei Spitzenmodellen serienmäßig waren, gehören diese Spiegel bei vielen Herstellern in allen Fahrzeugklassen zur Serie. Als Beispiel hierfür ist die Marke Volkswagen zu nennen. Der Anteil der Neufahrzeuge mit solchen Spiegeln, gemessen an den Gesamtverkaufszahlen, lässt sich mit ca. 85 % beziffern (eigene Erhebung, s. Kapitel 4).

Beifahrerseitige teilasphärische Außenspiegel treten nur mit einem fahrerseitigen in Erscheinung, d. h., von den 85 % mit fahrerseitigem teilasphärischem Spiegel haben ca. 20 % auch einem beifahrerseitigen (ca. 17,5 % der Gesamtmenge, hauptsächlich Modelle der Marken BMW, Mercedes-Benz).

Liegt kein teilasphärischer Spiegel vor, sind die Spiegel meist sphärisch konvex. Plane Spiegel treten nur äußerst selten in Erscheinung (0,4 % der Gesamtmodelle, hauptsächlich Modelle von US-Herstellern).

Die wenigsten Hersteller bieten als Sonderausstattung einen planen oder konvexen Spiegel anstelle eines serienmäßigen teilasphärischen Spiegels an (Ausnahme Audi, Planspiegel als Option für links). Hat ein Hersteller erst einmal einen teilasphäri-

Rang	Fahrzeug	Anteil	Spiegel
1	VW Golf, Bora	8,6 %	F
2	Mercedes C-Klasse	4,1 %	F, B
3	BMW 3er	3,9 %	F, B
4	VW Polo	3,7 %	F
5	Audi A4	3,5 %	F
6	Opel Astra	3,5 %	F
7	VW Passat	3,5 %	F
8	Mercedes E-Klasse	3,4 %	F, B
9	Opel Corsa	3,1 %	F
10	Ford Focus	2,8 %	-
	Gesamt	40,1 %	

F: teilasphärischer Spiegel Fahrerseite (Serie)
 B: teilasphärischer Spiegel Beifahrerseite (Serie)
 -: kein teilasphärischer Spiegel im Angebot

Tab. 3.5: Neuzulassungen im August 2003 mit Anteil an Gesamtzulassungen und Serienausstattung mit teilasphärischen Spiegeln

		Beifahrerseite				
		plan	konvex	teil- asphärisch	kein	gesamt
Fahrerseite	plan	0	0,4	0	0	0,4
	konvex	0	14,6	0	0	14,6
	teil- asphärisch	0	67,5	17,5	0	85,0
	gesamt	0	82,5	17,5	0	100

Tab. 3.6: Ausrüstungsstand der neu zugelassenen Pkw für August 2003, in %

schen Spiegel serienmäßig eingeführt (egal, ob Beifahrer oder Fahrerseite), so kam er auch nicht mehr davon ab.

In Anlehnung an Tabelle 3.1 ergibt sich die Matrix in Tabelle 3.6.

Es konnte weder bei Händlern noch bei den Untersuchungen des aktuellen Bestands auf den Strassen ein Fahrzeug gefunden werden, das einen konvexen Innenspiegel hat.

4 Unfallanalysen

4.1 Möglichkeiten der Datenquellen

Die Unfallentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland wird auf der Grundlage der amtlichen Unfallstatistik des Statistischen Bundesamtes, Wiesbaden, jährlich dargestellt. Diese Unfallstatistik bereitet die Daten aus den Dokumentationen der Polizei anlässlich von Verkehrsunfällen auf. Ein Mangel besteht darin, dass hieraus in nur begrenztem Umfang Informationen zu der Unfallentstehung, den Unfallabläufen und den Verletzungsmechanismen bereitstehen. Diese Lücke lässt sich schließen, indem spezielle Teams unabhängig von der polizeilichen Zielsetzung nach rein wissenschaftlichen Aspekten Verkehrsunfälle analysieren. Die dazu erforderliche Dokumentation beginnt bereits unmittelbar nach dem Unfallereignis noch am Unfallort und erstreckt sich bis zu Unfallrekonstruktion sowie Daten über die Behandlungen der Verletzten. So lassen sich umfassende Informationen zu den breit gefächerten Forschungsfeldern „Passive und aktive Fahrzeugsicherheit“, „Biomechanik“, „Verkehrsmedizin“, „Rettungsmedizin“, „Straßenausstattung“ und „Straßenzustand“ gewinnen.

4.2 Entwicklung der Unfallerhebung vor Ort

Erste so genannte „In-Depth Investigation Teams“ wurden in den 70er Jahren auf Initiative der Automobilhersteller in Deutschland zusammengestellt. Im Jahre 1973 etablierte die Bundesanstalt für Straßenwesen ein im öffentlichen Auftrag unabhängig arbeitendes Team an der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH), die mit der Technischen Universität Berlin kooperierte. 1984 entschied eine Projektgruppe über die langfristige Zielsetzung und Einbindung der Erhebungen am Unfallort auf der Basis eines definierten Erhebungsgebietes im Großraum Hannover, um repräsentative Ergebnisse zu gewinnen. So wurde von 1985 an eine jährliche Fallzahl von 1.000 Verkehrsunfällen angestrebt, die als Grundgesamtheit die Basis zukünftiger Auswertungen bildete. Zur Auswahl der Verkehrsunfälle diente ein statistischer Stichprobenplan, wonach umfangreiche Informationen zu diversen Bereichen der Vorunfall-, Kollisions- und Nachunfallphase in einer Datenbank zusammengeführt wurden. Zwischenzeitlich hat sich im Zuge der Europäisierung

und Globalisierung die Bedeutung von In-Depth-Erhebungen auch im internationalen Bereich durchgesetzt und viele Länder unterhalten ähnliche Teams. Da zur Optimierung der Fahrzeuge derartige Detailinformationen unabdingbar sind, lag eine stärkere Beteiligung der Automobilhersteller nahe, woraus sich im Jahr 1999 das Gemeinschaftsvorhaben zwischen der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) entwickelte. Hierzu wurde das Erhebungsgebiet erweitert und ein zweites Team im Großraum Dresden aufgebaut. In das Gemeinschaftsprojekt fließen somit die Daten der Erhebungen zweier deutscher Großstädte und deren Umgebung mit differenter Infrastruktur, Geografie und Topografie ein.

Die gewonnenen Vorteile einer größtmöglichen Fallzahl von etwa 2.000 Unfällen jährlich und einer weiterhin verbesserten repräsentativen Erhebung können damit genutzt werden. Beide Teams arbeiten hinsichtlich Erhebung und Auswertung in gleicher Weise. Das gemeinsame Vorhaben konnte am 1. Juli 1999 gestartet werden.

Die erhobenen Daten werden in einer Datenbank gespeichert mit der Kurzbezeichnung (German In-Depth Accident Study, GIDAS) und in verschiedener Hinsicht ausgewertet:

Für den Gesetzgeber bestehen damit Möglichkeiten, das Unfallgeschehen genauestens zu beobachten und negative Entwicklungen frühzeitig zu erkennen. Durch die ausführliche Dokumentation des Unfallgeschehens mit detaillierten Informationen zu Fahrzeugdeformationen, Verletzungsquellen von Insassen und äußeren Verkehrsteilnehmern wie Fußgängern und Radfahrern können Gesetzesgrundlagen erarbeitet werden. Diese Grundlagen dienen der Beschreibung geeigneter Prüfverfahren im Rahmen der Typgenehmigung (z. B. EG-Richtlinien). So wirkten sich in der Vergangenheit Untersuchungen der Verkehrsunfallforscher bereits auf die Festsetzung von Gesetzesgrundlagen und Richtlinien aus und können als positiv wirkend auf die Unfall- und Verletzungssituation gewertet werden. Beispielhaft genannt seien hier Studien zur Effektivität des Sicherheitsgurtes, zur Notwendigkeit eines Fahrradhelmes, zur Verletzungssituation des durch den Schutzhelm geschützten Motorradfahrers.

Für die Automobilindustrie und die Bundesanstalt für Straßenwesen besteht die Möglichkeit, Vergleiche zwischen realem Unfallgeschehen und

Crashversuchen vorzunehmen. Verletzungsgefährdende Strukturen können so frühzeitig erkannt werden. Außerdem werden die Daten genutzt zur Entwicklung von Crashtestprogrammen, Unterstützung und Validierung von Computersimulationen, Erkennung und Einschätzung potenzieller Bereiche zukünftiger Sicherheitsentwicklungen und der Bewertung der Fahrzeug-Sicherheits-Performance im realen Unfallgeschehen.

4.3 Erhebungsdesign vor Ort

Die Verkehrsunfälle werden nach einem Stichprobenverfahren erfasst. Eingang in die Erhebung finden Unfälle, die folgenden Kriterien entsprechen:

- Verkehrsunfall mit Personenschaden.
- Der Unfall liegt innerhalb des Erhebungsgebietes.
- Der Unfall ereignete sich innerhalb der Erhebungszeiten.

Das Erhebungsgebiet Hannover umfasst das Stadtgebiet und den Landkreis Hannover. In diesem Gebiet leben ca. 1,2 Millionen Menschen. Die Flächenausdehnung beträgt ca. 2.289 km², wovon etwa 10 % als städtisches Gebiet ausgewiesen sind.

Das Erhebungsgebiet Dresden umfasst die Stadt Dresden sowie Teile der Landkreise Meißen, Riesa-Großenhain, Weißeritzkreis, Sächsische Schweiz, Bautzen und Kamenz. In diesem Gebiet leben ca. 925.000 Menschen. Die Fläche beträgt ca. 2.575 km².

4.4 Methode und Durchführung der Analyse im Rahmen des Projekts

Im Auftrag der BASt wurden an der MHH insgesamt 12.000 Unfälle mit Personenschaden und zwei Beteiligten auf eine für dieses Projekt relevante Bedeutung hin untersucht. Die Unfälle wurden im Zeitraum von 1985 bis 2001 aufgenommen. Hierzu bekam die MHH eine Liste, die bestimmten Fahrzeugtypen deren Spiegelart zuordnete. Es wurde der Frage nachgegangen, ob bei bestimmten Unfalltypen Fahrzeuge mit einem bestimmten Spiegel häufiger in Erscheinung treten oder nicht.

Fahrzeuge von folgenden Herstellern wurden berücksichtigt: Audi, BMW, Ford, Mercedes-Benz, Opel, Peugeot, Nissan, Renault, Volkswagen, Seat, Skoda, Toyota, Mitsubishi, Alfa Romeo, Citroën. Die Wahl der Hersteller stützt sich vor allem auf deren Anteile am Gesamtbestand in Deutschland (Tabelle 4.1).

Es wurden jeweils verkaufsstarke Typen (nach Möglichkeit Volumenmodelle) der letzten 25 Jahre berücksichtigt, gegliedert nach Baujahr, Aufbau (Kombi, Limousine, Cabrio). Diesen Typen wurden die einzelnen Spiegelarten zugeordnet, d. h. P (plan), K (konvex) und AS (teilasphärisch mit sphärisch konvexer Hauptspiegelfläche). Liegt links kein Spiegel vor, so ist dies mit einem X gekennzeichnet. Eine Vielzahl an Modellen gab es mit verschiedenen Spiegeltypen, z. B. wenn ein planer Spiegel zur Serienausstattung gehörte und ein teilasphärischer Spiegel als Sonderausstattung geordert werden konnte (Darstellung in

Platz	Hersteller	Anteil [%]
1	Volkswagen	21,6
2	Opel/GM	14,3
3	Ford	8,9
4	Daimler-Chrysler	8,6
5	BMW	6,2
6	Audi	6,0
7	Renault	4,9
8	Fiat	3,7
9	Nissan	2,6
10	Toyota	2,5
	Sonstige	15,9

Tab. 4.1: Anteil der Automobilhersteller am Bestand an Pkw, Stand Januar 2003, keine Angaben für Citroën und Skoda verfügbar [nach KBA].

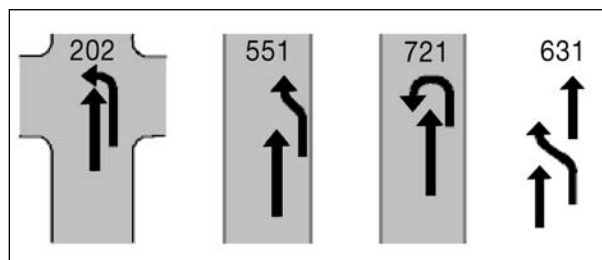


Bild 4.1: Unfalltypen 202, 551, 721 und 631

Tabelle 4.2: AS/P). Viele ältere Modelle gab es auf der Beifahrerseite entweder mit konvexem Spiegel oder es war kein Spiegel vorhanden (Dar-

Hersteller	Modell	Bj. von-bis MM.JJ	Aufbau	Spiegel-typ Fahrer-seite	Spiegel-typ Bei-fahrer-seite
Audi	80	10/86-09/91	Lim	P	K/X
	80	10/91-12/95	Lim	AS/P	K
	A3	09/96-08/00	alle	AS	K
	A3	09/00-05/03	alle	AS	K
	A3	06/03-	alle	AS	K
	A4	01/95-01/99	Lim	AS/P	K
	A4	04/96-01/99	Kom	AS/P	K
	A4	02/99-10/00	Lim	AS	K
	A4	02/99-08/01	Kom	AS	K
	A4	11/00-	Lim	AS	K
	A4	09/01-	Kom	AS	K
	100	10/82-02/91	alle	P	K/X
	100	3/91-10/94	alle	AS/P	K
	A6	07/94-07/97	Lim	AS/P	K
	A6	07/94-02/98	Kom	AS/P	K
	A6	07/97-	Lim	AS	K
	A6	03/98-	Kom	AS	K
	V8	02/89-09/94	alle	P	K
A8	06/94-11/02	alle	AS/P	K	
A8	12/02-	alle	AS	K	

Tab. 4.2: Auszug aus der Liste bezüglich des Ausrüstungsstands, Beispiel: Audi (P: plan, K: sphärisch konvex, AS: teilasphärisch, X: kein Spiegel vorhanden, Lim: Limousine, Kom: Kombi)

stellung in Tabelle 4.2: K/X). Insgesamt wurden 200 Typen berücksichtigt, die ca. 80 % der auf den deutschen Straßen zugelassenen Fahrzeugen bilden.

Die Anteile der jeweiligen Spiegelarten an der Gesamtzahl der untersuchten Unfallfahrzeuge sind in Bild 4.2 dargestellt. Für die weitere Auswertung sind lediglich die Kombinationen plan, konvex und teilasphärisch von Bedeutung, da hier der Spiegeltyp eindeutig ist. Insgesamt sind auf der Fahrerseite (linker Spiegel) 37,9 % und auf der Beifahrerseite (rechter Spiegel) 20,1 % der Spiegel unbekannt. Hierunter fallen zum einen diejenigen Fahrzeuge, die von vornherein nicht berücksichtigt wurden (keine Volumenmodelle), und die Fahrzeuge, bei denen als Option verschiedene Spiegeltypen angeboten wurden.

Bei n = 9.834 Pkw ist bekannt, welche Spiegeltypen an der linken Seite des Fahrzeugs angebracht sein könnten (12.000 · (1 - 0,18)) (vgl. Bild 4.2 gesamt ohne ‚völlig unbekannt‘). Bei n = 8.088 Pkw sind die Spiegeltypen eindeutig (12.000 · (1 - 0,326)), d. h. plan, konvex oder teilasphärisch.

Für diese Pkw wurden die häufigsten Unfalltypen ermittelt, für die die Nutzung des linken Spiegels eine Rolle spielt. Die Unfälle werden nach Typen klassifiziert, wobei die 3-zifferige Klassifizierung nach GDV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft) gilt.

4.5 Ergebnis der Unfallanalyse

Die Auswertung erfolgte durch die MHH, die für die Auswertung n = 9.834 Pkw zugrunde legte. Es verbleibt in den Analysen ein gewisser Prozentsatz an Fahrzeugen, bei denen der Spiegeltyp nicht eindeutig geklärt werden kann.

Am häufigsten traten die Unfalltypen 202, 551, 631 und 721 in Erscheinung (vgl. Bild 4.1), wobei der Unfalltyp mit n = 111 Fahrzeugen am meisten vertreten ist. Betrachtet man Unfalltyp 202 und ordnet die Anzahl den Spiegeltypen zu, hatten 42,7 % der Fahrzeuge einen planen, 16,5 % einen konvexen und 4,8 % einen teilasphärischen Spiegel auf der Fahrerseite. Bei dem verbleibenden Prozentsatz der Unfälle dieses Typs ist der Spiegel unbekannt.

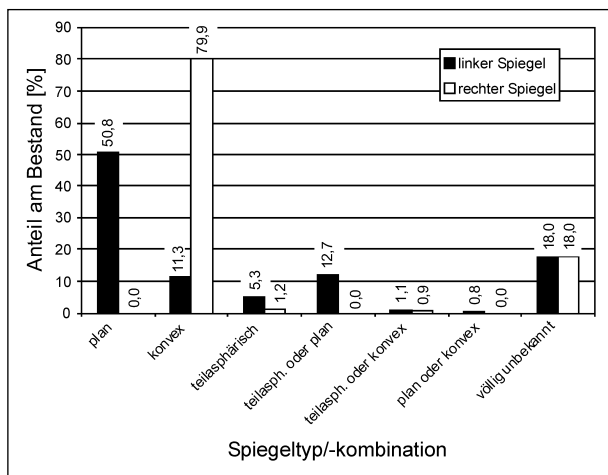


Bild 4.2: Arten von Außenspiegeln an Unfallfahrzeugen und deren Anteile am Gesamtbestand n = 12.000 für linke und rechte Seite

Vergleicht man diese Werte mit der Verteilung der linksseitigen Spiegel mit dem Gesamtbestand der Unfallfahrzeuge (Bild 4.2), so stellt man fest, dass Fahrzeuge mit planem sowie teilsphärischem Spiegel leicht unterrepräsentiert (plan: 42,7 % verglichen mit 50,8 %, teilsphärisch: 4,8 % verglichen mit 5,3 %) und Fahrzeuge mit konvexem Spiegel leicht überrepräsentiert sind (16,5 % verglichen mit 11,3 %).

Wählt man den Anteil am Gesamtbestand als Basis, so drückt sich die Über-/Unterrepräsentiertheit mit -15,9 % für den planen Spiegel, +46 % für den konvexen Spiegel und -9,4 % für den teilsphärischen Spiegel aus (vgl. Bild 4.3). Führt man diese Methode sukzessive für die Unfalltypen 551 (n = 30), 721 (n = 104) und 631 (n = 63) aus, so ergeben sich die Darstellungen in den Bildern 4.4 bis 4.6.

Andere, aber dennoch für die Untersuchung interessante Unfalltypen wurden nicht mit berücksichtigt, da hier die Fallzahlen teilweise bei unter n = 6 liegen.

Aus den gewonnenen Darstellungen lassen sich keine signifikanten Hinweise finden, dass mit teilsphärischen Spiegeln bestimmte Unfälle weniger häufig auftreten. Bei Unfalltyp 202 und 721 war dieser Spiegel unterdurchschnittlich und bei Unfalltyp 551 und 631 überdurchschnittlich vertreten. Bei den betrachteten Unfällen zeigen Pkw mit planen Spiegeln eine geringere Häufigkeit auf.

In einem nächsten Schritt wurde die zeitliche Erscheinung der Unfälle mit in Betracht gezogen. Würde sich ein teilsphärischer oder konvexer Spiegel signifikant positiv auf das Unfallgeschehen auswirken, so müsste die Zahl der Unfälle

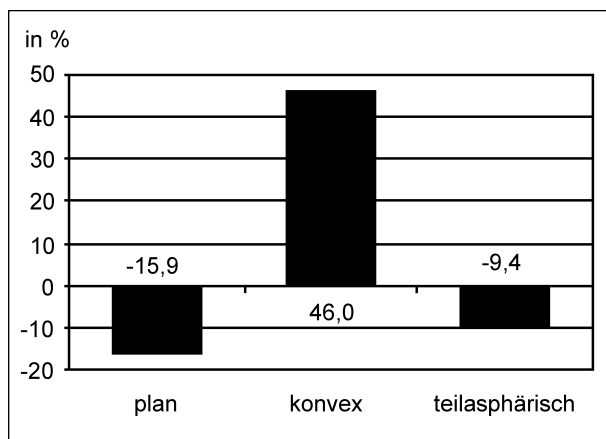


Bild 4.3: Prozentuale Abweichung der Spiegeltypen für Unfalltyp 202 im Vergleich zu allen Unfällen (n = 111)

(Mitte/Anfang 90er Jahre) zurückgehen. Es ist bekannt, dass in den 80er Jahren vermehrt plane Spiegel verbaut wurden. In den 90er Jahren nahm der Anteil der Fahrzeuge mit konvexen Spiegeln zu und teilsphärische Spiegel traten in Erscheinung

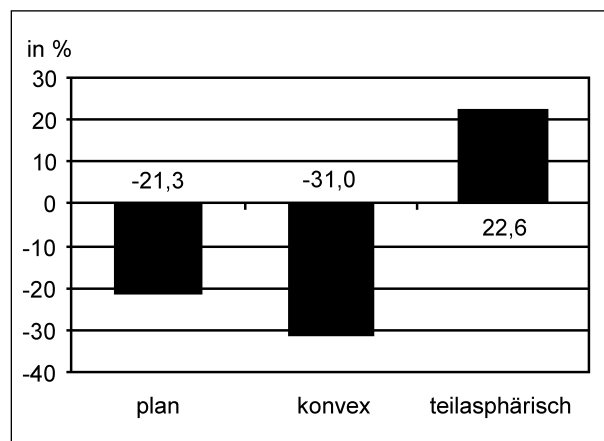


Bild 4.4: Prozentuale Abweichung der Spiegeltypen für Unfalltyp 551 im Vergleich zu allen Unfällen (n = 30)

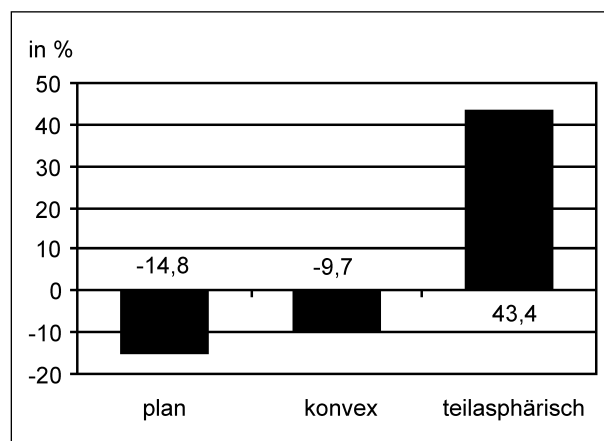


Bild 4.5: Prozentuale Abweichung der Spiegeltypen für Unfalltyp 631 im Vergleich zu allen Unfällen (63)

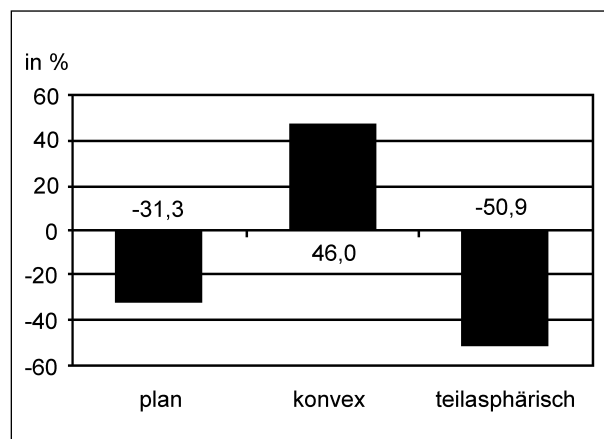


Bild 4.6: Prozentuale Abweichung der Spiegeltypen für Unfalltyp 721 im Vergleich zu allen Unfällen (104)

(vgl. Kapitel 3.1). Wie Bild 4.7 zeigt, ist die Unfallanzahl pro Jahr sehr gering und variiert über dem untersuchten Zeitraum. 1985 gab es sechs Unfälle dieses Typs, 1997 passierten 12 dieser Unfälle, während es 2001 erneut sechs Unfälle waren. Bereits 1988 wird erstmals ein Unfallfahrzeug mit teilasphärischem Spiegel registriert, 1994 wird die Spitze mit vier erreicht und 1995 liegt sie wieder bei

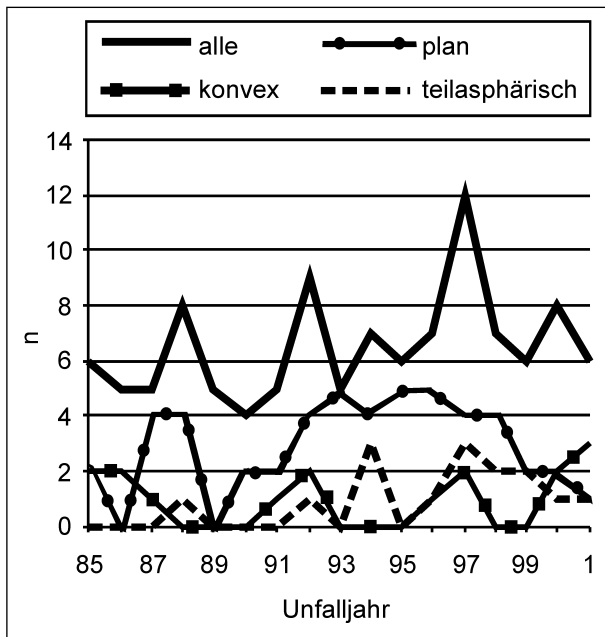


Bild 4.7: Zeitlicher Verlauf Unfallentwicklung (Anzahl n) der Spiegeltypen für Unfalltyp 202 von 1985 bis 2001

null. Um besser mögliche Tendenzen zu erkennen, wurde der Verlauf zusätzlich geglättet.

Daher wurden bei den vier Unfalltypen jeweils vier Jahre zusammengefasst und als Datenpunkt dargestellt. In Bild 4.8 ist dies für Unfalltyp 202 und in Bild 4.9 für Unfalltyp 551 durchgeführt.

In den 90er Jahren treten Fahrzeuge mit teilasphärischen Spiegeln verstärkt in Erscheinung. In diesen Jahren scheint der teilasphärische Spiegel verhältnismäßig oft an den genannten Unfalltypen beteiligt zu sein. Kausale Zusammenhänge lassen sich hieraus jedoch nicht herleiten, da die Unfallzahlen sehr gering sind und diese weiterhin reduziert werden mussten, da nur bei wenigen Fahrzeugtypen der Spiegeltyp eindeutig bestimmt werden konnte.

Nach Aussagen der MHH, Prof. OTTE, ist das Ergebnis der Untersuchung, dass kein signifikanter Einfluss der Seitenspiegelart auf das Unfallgeschehen aus dieser statistischen Unfallanalyse erkennbar ist. Dennoch können möglicherweise Einzelfälle den Vorteil eines teilasphärischen Spiegels erkennen lassen. Da unseres Erachtens das vorliegende Datenmaterial jedoch keine eindeutigen Schlüsse zulässt, werden die Ergebnisse dieser Unfallanalyse im Rahmen der vorliegenden Studie nicht weiter herangezogen.

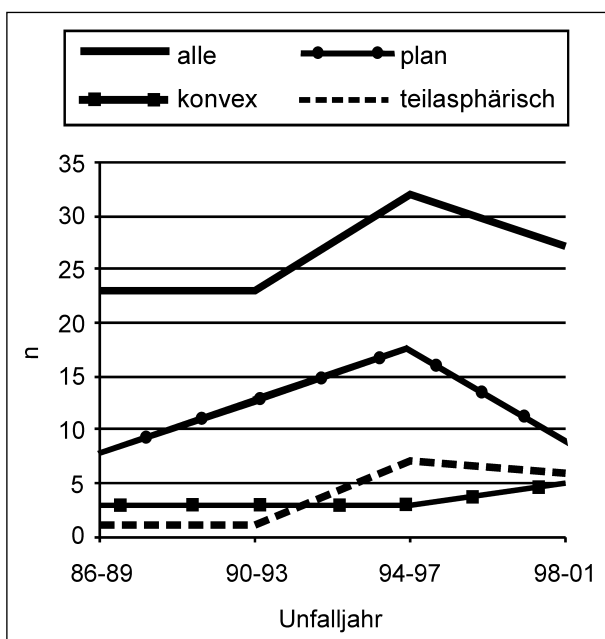


Bild 4.8: Zeitlicher Verlauf Unfallentwicklung (Anzahl n) der Spiegeltypen für Unfalltyp 202 (geglättet, d. h. jeweils 4 Jahre zusammengefasst)

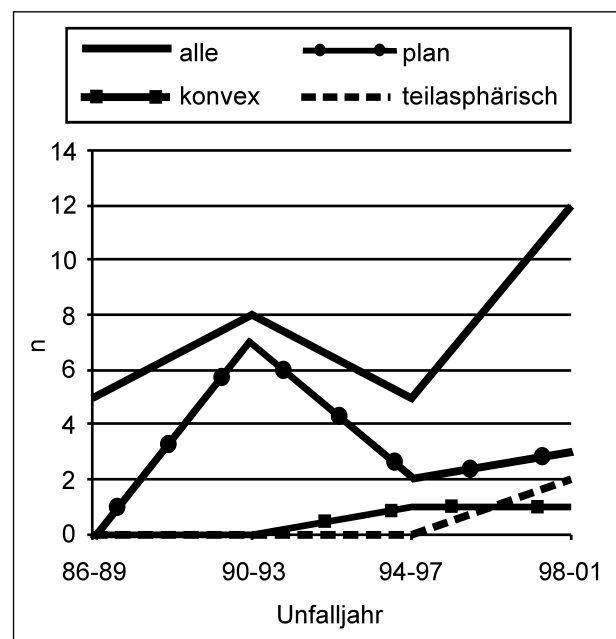


Bild 4.9: Zeitlicher Verlauf Unfallentwicklung (Anzahl n) der Spiegeltypen für Unfalltyp 551 (geglättet, d. h. jeweils 4 Jahre zusammengefasst)

5 Stand der Forschung

5.1 Zusammenfassung

Seit den 70er Jahren werden verstärkt Untersuchungen zu den Vor- und Nachteilen planer und gekrümmter Rückspiegel durchgeführt. Da in den USA auf der Fahrerseite nur plane Rückspiegel als Originalausstattung gestattet sind, konzentriert sich die meiste Forschungsaktivität auf die Vereinigten Staaten. Es besteht dort der Bedarf, mehr über die mit den verschiedenen Spiegelvarianten verbundenen Vor- und Nachteile zu erfahren, bevor eine Entscheidung über eine Zulassung im Straßenverkehr getroffen wird.

Es wird in diesem Zusammenhang davon ausgegangen, dass plane Außenspiegel Vorteile in der Abbildungsqualität haben, da das Bild im Spiegel nicht verzerrt wird. Nachteilig wirkt sich bei diesen Spiegeln jedoch aus, dass das Sichtfeld, das durch den Spiegel abgedeckt wird, relativ klein ist und somit relativ große Bereiche im rückwärtigen Verkehr nicht eingesehen werden können. FLANNAGAN, SIVAK & TRAUBE (1999) [41] konnten zeigen, dass bei einem angenommenen direkten Sichtfeld von 180° und einem durchschnittlichen Sichtfeld eines Rückspiegels von 13° ein Bereich von 32° nicht sichtbar ist. Dieser Bereich ist so groß, dass ein sich dort befindendes Fahrzeug nicht gesehen wird. Eine Methode, diesen Bereich trotz der Unzulänglichkeiten des Spiegels einzusehen, ist der Schulterblick. Dieser führt jedoch dazu, dass der Fahrer seinen Blick von der Fahrtrichtung abwenden muss und daher eine relativ lange Zeitspanne nicht sieht, was vor ihm passiert. Ein weiterer Nachteil entsteht durch die Tatsache, dass insbesondere ältere Verkehrsteilnehmer die nötigen Kopfbewegungen nur noch schwer oder eingeschränkt durchführen können (weitere Aspekte werden z. B. bei FLANNAGAN, 2000 [37] diskutiert). Als Alternative hierzu müsste der plane Spiegel relativ groß sein und eine relativ kurze Auge-Spiegel-Distanz haben, um ein ausreichendes Sichtfeld nach hinten zu gewähren. Aber je größer der Spiegel ist, desto mehr des frontalen Sichtfeldes wird auch durch den Spiegel verdeckt (vgl. z. B. CARRUTHERS, 1966 [14]; FOSBERRY & MILLS, 1959 [45]). Zusätzlich wird mit zunehmender Größe auch der Luftwiderstand größer, der Benzinverbrauch steigt und durch das höhere Gewicht können Vibrationen einsetzen, welche die Qualität des Sichtfeldes ebenfalls einschränken können.

Eine Lösung dieses Problems bieten gekrümmte Spiegel, die bei gleicher Spiegelgröße den Vorteil eines wesentlich größeren Sichtfeldes haben. Dadurch wird eine deutliche Reduzierung des toten Winkels erreicht (vgl. z. B. PILHALL, 1981 [71]). Die Größe des durch konvexe Spiegel zu verwirklichtenden Sichtfelds hängt genau wie die Qualität der Sicht von mehreren Faktoren ab, wie z. B. der Krümmung des Spiegels, seiner Größe und der Distanz zwischen Auge und Spiegel (CARRUTHERS, 1966 [14]). Eine ausführliche Beschreibung der Eigenschaften planer und konvexer Spiegel sowie Möglichkeiten, den toten Winkel zu reduzieren, wird bei PLATZER (1995) [72] und MORROW & SALIK (1962b) [65] beschrieben. Einige Studien haben empfohlen, das Sichtfeld der Rückspiegel auf einen Bereich von bis zu 45° auszuweiten, um den toten Winkel zu eliminieren (CONNOLLY, 1964 [18]; FLANNAGAN et al., 1999 [41]; FLANNAGAN, 2000 [37]; FOSBERRY & MILLS, 1959 [45]). Das größere Sichtfeld wird dabei jedoch mit einer krümmungsbedingt schlechteren Abbildungsqualität erkauft. Sowohl in sphärisch konvexen als auch teilasphärischen Spiegeln wird das Bild verkleinert, sodass es zu Fehleinschätzungen von Geschwindigkeiten und Distanzen kommen kann. Zusätzlich entsteht bei konvexen Spiegeln ein leicht gegenläufiger Effekt durch ihre optischen Eigenschaften. Diese führen dazu, dass die virtuellen Bilder der Objekte, die im Spiegel gesehen werden, viel dichter sind als die korrespondierenden realen Objekte. Die Distanz zu einem Bild in einem konvexen Spiegel liegt ungefähr einen halben Krümmungsradius hinter der Spiegeloberfläche. Im Vergleich zu planen Spiegeln, bei denen dieser Effekt nicht auftritt, müssen Fahrer bei konvexen Spiegeln also auf wesentlich nähere Abstände fokussieren, um sich ein genaues Bild des rückwärtigen Verkehrs zu verschaffen. Dies dürfte aber besonders älteren Fahrern schwer fallen, da die Fähigkeit, auf kurze Distanzen zu fokussieren, mit dem Alter abnimmt (FLANNAGAN, 2000 [37]; GARROTT & KIGER, 1992 [46]; HENDERSON, SMITH, BURGER & STERN, 1983 [51]; JANI & MENEZES, 1962 [54]).

Sphärische und teilasphärische Spiegel können weiterhin dadurch unterschieden werden, dass sphärische Spiegel bei gleicher Spiegelgröße eine stärkere Krümmung haben müssen, um das gleiche Sichtfeld zu erzeugen. Ein Nachteil teilasphärischer Spiegel ist dagegen, dass die Krümmung dieser Spiegelvarianten zum Rand des Spie-

gels bis auf etwa 160 mm zunimmt (vgl. z. B. BOCKELMANN, 1990 [5]), sodass in diesem Bereich die größten Verzerrungen auftreten.

Um die genannten Vor- und Nachteile der einzelnen Spiegelvarianten zu untersuchen und gegeneinander abzuwägen, ist eine Vielzahl an Studien durchgeführt worden (einen hervorragenden Überblick über durchgeführte Untersuchungen gibt FLANNAGAN, 1988 [33], neuere Studien werden von FLANNAGAN, 2000 [37], beschrieben). Es lassen sich dabei verschiedene Operationalisierungen der Fragestellung unterscheiden. So gibt es mindestens drei unterschiedliche Ansätze, deren Ergebnisse im Folgenden beschrieben werden.

Zunächst werden Untersuchungen berichtet, die Unfallzahlen als Maß für die Sicherheit einzelner Spiegelsysteme herangezogen haben. Zu diesem Thema sind zwei Untersuchungen durchgeführt worden, deren Versuchsdesigns sehr ähnlich waren. Die Studien wurden dabei in Ländern durchgeführt, in denen sowohl plane als auch nicht-plane Spiegel auf der Fahrerseite gesetzlich erlaubt sind (Großbritannien und Finnland). In beiden Untersuchungen (LUOMA, SIVAK & FLANNAGAN, 1995 [59]; SCHUMANN, SIVAK & FLANNAGAN, 1998 [76]) wurden Unfälle durch Spurwechsel als Kriterium verwendet, da es bei solchen Unfällen nach Auffassung der beiden Forschergruppen noch am wahrscheinlichsten ist, dass die Benutzung des Außenspiegels einen Einfluss auf den Unfallhergang hat. Bei der Analyse solcher Unfälle gehen sowohl die Nachteile planer Spiegel (toter Winkel) als auch konvexer Spiegel (Geschwindigkeits- und Distanzschätzungen) in die Beurteilung ein. Es wurden daher die Häufigkeiten von Unfällen bei Spurwechseln auf der Fahrerseite für Fahrzeuge mit unterschiedlichen Außenspiegeln (plan, konvex) miteinander verglichen. Da auf der Beifahrerseite bei allen untersuchten Fahrzeugen ausschließlich sphärische Spiegel eingesetzt wurden, dienten Spurwechselunfälle auf dieser Seite hierbei als Kontrollvariable. Im Gegensatz zu SCHUMANN et al. (1998) [76] erfassten LUOMA et al. (1995) [59] auch teilasphärische Spiegel, die Datenbasis ihrer Analysen ist jedoch viel geringer (407 Unfälle im Vergleich zu 3.038 Unfällen bei SCHUMANN et al., 1998 [76]). Es wurden nur Unfälle in die Analysen einbezogen, bei denen der Fahrer, der den Spurwechsel initiierte, die volle Schuld trug. Spurwechselunfälle, bei denen ein Fahrer unter Alkoholeinfluss stand, wurden nicht weiter analysiert. Beide Studien fanden übereinstimmend, dass konvexe

Spiegel tendenziell zu weniger Spurwechselunfällen führten. Die Daten von LUOMA et al. (1995) [59] wiesen auf ein Absinken der Unfallrate um 22 % bei teilasphärischen und sphärischen im Vergleich zu planen Spiegeln hin, aufgrund der niedrigen Zahl an erfassten Unfällen in dieser Studie wurde dieses Ergebnis jedoch nicht signifikant. Trotz der größeren Datenbasis von SCHUMANN et al. (1998) [76] zeigte sich auch in dieser Untersuchung nur eine Tendenz dahin gehend, dass die Vorteile (Reduzierung des toten Winkels) im Vergleich zu den Nachteilen (Verkleinerung von Objekten im Spiegel) überwogen. Eine Verminderung von Spurwechselunfällen zeigte sich insbesondere für größere Fahrzeuge und für die am höchsten von solchen Unfällen betroffenen Altersgruppen, sehr junge und sehr alte Fahrer. Die Autoren berechneten, dass es in der jüngsten Altersgruppe (bis 24 Jahre) einen signifikanten Rückgang in der Zahl der Spurwechselunfälle auf der Fahrerseite gab und dass dieselbe Tendenz auch für die älteste Altersgruppe (über 65 Jahren) zu finden war.

Eine mögliche Schlussfolgerung ist daher, dass es keine messbaren Auswirkungen der Verzerrungen durch sphärische Spiegel auf die Unfallrate bei Spurwechseln gibt. Ein Grund für diesen Befund ist eventuell darin zu sehen, dass sich Fahrer nicht nur auf den Außenspiegel verlassen, wenn sie Distanzen und Geschwindigkeiten einschätzen müssen, sondern hierfür zusätzlich den Innenspiegel benutzen (vgl. für diese Argumentation auch: MORTIMER, 1971 [67]; MORTIMER & JORGESON, 1974 [66]).

SCHUMANN et al. (1998) [76] sehen besondere Vorteile in der Benutzung teilasphärischer Spiegel, da diese die gewünschte Reduzierung des toten Winkels erreichen können, ohne dass große Teile des Spiegels Objekte so stark verkleinern wie bei sphärischen Spiegeln (durch den vorhandenen asphärischen Teil muss die Krümmung des sphärischen Teils des Spiegels nicht so stark sein, um das gleiche Sichtfeld zu ermöglichen) (vgl. hierzu auch FLANNAGAN & SIVAK, 1993 [34]). FLANNAGAN (2000) [37] weist in diesem Zusammenhang noch darauf hin, dass die Beurteilung konvexer Spiegel in Bezug auf Qualität und Quantität des Sichtfeldes vermutlich noch vorteilhafter gewesen wäre, wenn in die Analysen zusätzlich Auffahrunfälle mit einbezogen worden wären. Hinter dieser Hypothese steht die Annahme, dass Auffahrunfälle unter anderem auch durch eine Ablenkung vom Fahrgeschehen erfolgen, die bedingt wird durch

die Notwendigkeit, den toten Winkel durch Schulterblicke zu überprüfen. Da diese Notwendigkeit bei konvexen Spiegeln jedoch entfällt, sollten mit nicht-planen Spiegeln weniger Auffahrunfälle passieren.

Die von den beiden Forschergruppen um LUOMA und SCHUMANN durchgeführten Untersuchungen liefern zwar Belege dafür, dass nicht-plane Rückspiegel keine nachteiligen Folgen für Spurwechselmanöver haben, es gibt jedoch einige Einschränkungen, die in diesem Zusammenhang bedacht werden müssen. So können nach SCHUMANN et al. (1998) [76] Spurwechselunfälle zwar durch eine nicht angemessene rückwärtige Sicht verursacht werden, wie die Sicht durch den Rückspiegel den Spurwechsel jedoch genau beeinflusst, kann nicht direkt aus den Unfalldaten geschlossen werden. Der Unfall kann auch geschehen, weil der Fahrer gar nicht in den Spiegel geschaut hat oder der Spiegel schlecht oder falsch eingestellt war. Daher ist es nur eine unter mehreren Möglichkeiten, dass der Unfall durch verzerrte oder nicht ausreichende Informationen des Außenspiegels verursacht wurde. Eine ausschließliche Analyse von Unfalldaten reicht daher nicht aus, um zweifelsfrei die Qualitäten und Defizite verschiedener Spiegel zu beurteilen.

Aus diesem Grund hat sich der zweite Ansatz mit den subjektiven Erfahrungen der Fahrer beschäftigt. Dies geschah meistens durch Befragungen mit Hilfe von Fragebögen (z. B. de VOS, THEEUWES & PEREL, 1999 [87]; de VOS, 2000 [85]; FLANNAGAN & FLANNAGAN, 1998 [32]; KAEHN, 1975 [55], 1976 [56]). In der amerikanischen Studie von FLANNAGAN & FLANNAGAN (1998) [32] wurden fünf verschiedene Spiegel in Bezug auf ihre Akzeptanz bewertet. Zwei Spiegel waren sphärisch (1.500 mm und 2.000 mm Radius) und drei Spiegel teilasphärisch mit einem unterschiedlich großen Anteil an variabler Krümmung (34, 40 oder 66 % der Fläche des Spiegels). Da die Teilnehmer dieser Studie, Angestellte der Ford Motor Company, im Durchschnitt 45 Jahre alt und zu einem großen Prozentsatz männlich waren, können die Ergebnisse der Befragung nicht als repräsentativ für die Allgemeinbevölkerung angesehen werden. Ein weiterer Nachteil dieser Untersuchung bestand darin, dass jede Versuchsperson nur jeweils Erfahrungen mit einem Spiegel sammeln konnte. Die Teilnehmer fuhren vier Wochen mit dem jeweiligen Testspiegel an ihrem eigenen Fahrzeug und bewerteten zu drei Zeitpunkten mit Hilfe eines Fragebogens ihre Er-

fahrungen mit dem Spiegel. Insgesamt hatten sich nach vier Wochen 93 % der Fahrer an die neuen Spiegel gewöhnt und alle nicht-planen wurden gegenüber den planen Spiegeln bevorzugt. Es gab allerdings Unterschiede zwischen den einzelnen Spiegeln, da die Akzeptanz insbesondere des Spiegels mit der größten Fläche mit variabler Krümmung interindividuell sehr verschieden war. Interessant war weiterhin, dass die Präferenz für die nicht-planen Spiegel unabhängig von den Vorerfahrungen oder vom Alter der Teilnehmer war. GARROTT & KIGER (1992) [46] befragten im Rahmen ihrer Studie 49 Fahrer (22 Männer und 27 Frauen) von Schulbussen zu ihren Erfahrungen mit konvexen Spiegeln. 83 % der Befragten gaben an, dass sie einige Zeit benötigten, sich an den Spiegel zu gewöhnen. Ein großer Teil der Fahrer benötigte jedoch nicht mehr als eine Woche der Anpassung. BOCKELMANN (1990 [5], 1991 [6]) zitiert in seinen Artikeln einen Versuch der Schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung, nach dessen Beendigung die Teilnehmer die eingebauten teilasphärischen Spiegel nur noch äußerst ungern wieder entfernen ließen. Auch hier zeigte sich also, dass die Fahrer die Vorteile des teilasphärischen Spiegels erkannt haben und sehr viel höher als die möglichen Nachteile bewerteten.

Die Fragebögen von de VOS (de VOS et al., 1999 [87]; de VOS, 2000 [85]) wurden im Rahmen einer umfangreichen Studie erhoben, die auch experimentelle Versuchsanordnungen umfasste (de VOS, 2000 [85]). Der erste Fragebogen (de VOS et al., 1999 [87]) diente hierbei als exploratorischer Fragebogen, der einer kleinen Gruppe von Versuchspersonen (N = 47) vorgegeben wurde und dessen Ergebnisse als Grundlage für die Konstruktion des zweiten Fragebogens (de VOS, 2000 [85]) verwendet wurden. Vor der Befragung wurden die Teilnehmer anhand des Außenspiegels ihres Fahrzeugs in die Gruppen „plan“ „sphärisch konvex“ und „teilasphärisch konvex“ eingeteilt. Die Versuchspersonen der ersten Befragung wurden auf dem Parkplatz eines Möbelgeschäfts rekrutiert und die Eigenschaften ihrer Außenspiegel vor Ort kontrolliert. Die Rekrutierungsmethode und die geringe Stichprobengröße führten dazu, dass nur 6 Teilnehmer mit einem teilasphärischen Außenspiegel in die Untersuchung aufgenommen wurden. Da die Fragen des zweiten Fragebogens eine Optimierung der ersten Befragung darstellen und die Stichprobe wesentlich größer ist (N = 208), werden nur die Er-

gebnisse der zweiten Befragung beschrieben. Wie in der ersten Untersuchung wurden die Teilnehmer auch in dieser Studie an öffentlichen Plätzen (Tankstelle, McDonald's McDrive Restaurant) befragt, sodass nach Einschätzung der Autoren eine einigermaßen repräsentative Stichprobe rekrutiert werden konnte.

Die Spiegeleigenschaften wurden wie in der ersten Befragung vor Ort erfasst, sodass die Aussagen der Teilnehmer überprüft werden konnten. Diese Kontrolle erwies sich als notwendig, da die Mehrheit der Teilnehmer nicht wusste, was für optische Eigenschaften ihr Spiegel besitzt. 61 % der Befragten mit einem sphärischen Außenspiegel bezeichneten ihren Spiegel als plan, nur 7 % als konstant konvex und 6 % sogar als konstant konkav. Von den Versuchspersonen mit teilasphärischen Spiegeln waren immer noch 45 % der Meinung, ihr Spiegel sei plan und nur 28 % hielten ihren Außenspiegel für teilasphärisch. Demgegenüber waren 77 % der Fahrer mit planem Außenspiegel davon überzeugt, dass ihr Fahrzeug einen planen Spiegel besitzt. In Bezug auf die verändernden Eigenschaften ihres Außenspiegels kannte sowohl in der Voruntersuchung als auch in dieser Befragung nur knapp die Hälfte der Teilnehmer die Merkmale ihres Spiegels. Ein Drittel der Fahrer mit einem planen Außenspiegel (35 %) war der Ansicht, ihr Spiegel würde das Bild verzerren (29 % verkleinern, 6 % vergrößern). Besorgnis erregender ist jedoch, dass fast die Hälfte der befragten Teilnehmer mit konvexen Spiegeln (46 %) dachte, dass ihr Spiegel keine Verzerrung produzieren würde. Dies galt in gleicher Weise für Fahrer mit sphärischen (46 %) und mit teilasphärischen (46 %) Spiegeln. Nur 36 % (25 %) der Teilnehmer mit sphärischen (teilasphärischen) Spiegeln gaben richtig an, dass ihr Spiegel Objekte verkleinert wiedergibt. Erschreckenderweise gaben sogar 15 % der Fahrer mit teilasphärischen Außenspiegeln an, ihr Spiegel würde Objekte vergrößert darstellen. Diese Befunde sind jedoch nicht überraschend, da schon MORTIMER & JORGESON (1974) [66] in ihrer Befragung vergleichbare Antworten erhielten. So fragten sie nach der Durchführung eines Experiments die Teilnehmer, welcher Spiegel (plan oder konvex) das größte Sichtfeld bieten würde, und nur 59 % der Fahrer wählten als Antwort den konvexen Spiegel aus.

Fragen zur Benutzung der Spiegel erbrachten weitere interessante Ergebnisse. So zeigte sich, dass jüngere Fahrer mit nicht-planen Spiegeln im Ver-

gleich zu planen Spiegeln weniger häufig einen Schulterblick einsetzten, ältere Fahrer mit teilasphärischen Spiegeln sich jedoch häufiger umblickten als gleich alte Fahrer mit planen oder sphärischen Spiegeln. Dies wird von de VOS dahin gehend interpretiert, dass ältere Fahrer Probleme haben könnten, den asphärischen Teil des Spiegels zu fokussieren oder dessen Bild zu interpretieren.

Es konnte keine Bestätigung für die Annahme gefunden werden, dass aufgrund der verkleinernden Eigenschaften der konvexen Spiegel der Innenspiegel bei der Einschätzung von Verkehrslücken häufiger genutzt werden musste. Der Innenspiegel wurde generell am häufigsten genutzt, wenn die Lücke zu einem von hinten heranfahrenden Fahrzeug eingeschätzt werden musste, dies war jedoch unabhängig von der Art des Außenspiegels. Auf die Frage, wie gut die Teilnehmer die Distanz und Geschwindigkeit von Fahrzeugen im rückwärtigen Verkehr beurteilen können, waren die Angaben der Fahrer mit sphärischen Spiegeln signifikant niedriger (i. S. einer schlechteren Beurteilung des Verkehrs) als bei Versuchspersonen mit planen Außenspiegeln. Die Teilnehmer, die einen teilasphärischen Außenspiegel an ihrem Fahrzeug hatten, unterschieden sich dagegen nicht von Personen mit planen Spiegeln. Dies wurde von dem Autor auf den meist größeren Krümmungsradius des sphärischen Anteils des teilasphärischen Spiegels zurückgeführt (in dieser Studie durchschnittlich 2.000 mm bei teilasphärischen und 1.400 mm bei sphärischen Spiegeln). Fahrer, die einen sphärischen Spiegel an ihrem Auto besitzen, denken also, dass sie weniger gut die Lücken zu Fahrzeugen im Rückspiegel einschätzen können als Fahrer mit planen oder teilasphärischen Spiegeln.

In Bezug auf die Präferenz für bestimmte Außenspiegel bevorzugten die Hälfte der Befragten mit sphärischen Spiegeln und ein Drittel der Teilnehmer mit teilasphärischen Spiegel plane Außenspiegel. Insgesamt wurden nicht-plane Spiegel nur von wenigen der befragten Fahrer bevorzugt. Die einzige Ausnahme waren Teilnehmer mit einem teilasphärischen Spiegel, von denen immerhin ein Drittel eine Präferenz für teilasphärische Außenspiegel zeigte. Es zeigte sich zudem ein Unterschied zwischen jungen und alten Fahrern. Während 21 % der jüngeren Teilnehmer einen teilasphärischen Spiegel bevorzugten (22,4 % besaßen einen solchen Außenspiegel), zeigten nur 8 % der älteren Fahrer eine Präferenz für diese Art von Spiegeln (obwohl

23,9 % der älteren Teilnehmer ein Fahrzeug mit teilasphärischem Spiegel fahren). Diese Unterschiede in der Zustimmung für nicht-plane Spiegel zeigten sich auch in einer Befragung von BURGER, MULHOLLAND, SMITH, SHARKEY & BARDALES (1980) [12]. Auch in dieser Untersuchung wurde den Versuchspersonen ein Fragebogen gegeben und es zeigte sich, dass die älteren Teilnehmer konvexe Spiegel (insbesondere auf der linken Seite) weniger bevorzugten als jüngere Fahrer. Die Korrelation zwischen den Bewertungen der alten und jungen Fahrer war mit $r = 28$ insgesamt sehr niedrig.

In seinen Untersuchungen ließ KAEHN (1975 [55], 1976 [56]) die Teilnehmer Fragebögen ausfüllen, nachdem sie mit den, jeweils mit einem experimentellen Spiegelsystem ausgerüsteten, Fahrzeugen gefahren waren. Aufgrund der relativ langen Testperiode von 10 (KAEHN, 1975 [55]) bzw. 6 (KAEHN, 1976 [56]) Monaten konnten insgesamt Daten von mehr als 660 Versuchspersonen erfasst werden. Es wurden sowohl Frauen als auch Männer befragt, die Fahrten fanden teilweise nachts und unter den verschiedensten Witterungsbedingungen statt. Die verwendeten Spiegelsysteme wiesen jedoch einige Einschränkungen auf, sodass die Ergebnisse für die hier zu überprüfende Fragestellung nur von geringem Wert sind. Da kein teilasphärischer Spiegel in den Versuchsaufbau integriert wurde, konnten ausschließlich Vergleiche zwischen planen und sphärischen (50 bzw. 60 Inch Krümmungsradius) Spiegeln in verschiedenen Kombinationen sowie mit einem Periskop-System bewertet werden. Ein zusätzlicher Nachteil ergab sich daraus, dass die sphärischen Spiegel ausschließlich am Kotflügel und nicht an der Tür befestigt wurden und somit eine größere Auge-Spiegel-Distanz bei diesen Spiegeln existierte, während sich die planen Spiegel an der Tür befanden. FLANNAGAN, SIVAK, SCHUMANN et al. (1997) [43] konnten jedoch zeigen, dass gerade die Auge-Spiegel-Distanz einen großen Einfluss auf die Fehleinschätzungen mit konvexen Spiegeln hat (s. u.). Nachteilig war weiterhin, dass sich an einem der untersuchten Spiegelsysteme der sphärische Spiegel nicht und bei einem anderen System nicht ausreichend einstellen ließ, sodass die Ergebnisse der Befragung hier nicht eindeutig der schlechteren Abbildungsqualität des Spiegels zugeschrieben werden können. In den genannten Untersuchungen von KAEHN zeigte sich insgesamt eine Präferenz der Befragten für ein System bestehend aus größte-

ren planen Spiegeln auf der Fahrerseite und innen sowie einem sphärischen Spiegel (50 Inch Krümmungsradius) auf der Beifahrerseite. Erst an dritter Stelle lag ein System aus planem Innenspiegel und konvexen Außenspiegeln (50 Inch Krümmungsradius). Dieses Ergebnis muss jedoch unter Berücksichtigung der genannten Kritikpunkte betrachtet werden. Aus der Auswertung des Fragebogens lassen sich dennoch einige interessante Informationen ableiten. So waren 87 % der Befragten der Ansicht, dass sie sich innerhalb von ein paar Tagen an die Benutzung von konvexen Spiegeln gewöhnen könnten. Jüngere Fahrer bewerteten die konvexen Spiegel besser als ältere (> 40 Jahre) Fahrer und es gab keine Belege dafür, dass die Akzeptanz konvexer Spiegel mit zunehmender Erfahrung (unter 250 im Vergleich zu mehr als 500 Meilen Fahrpraxis mit konvexen Spiegeln) zunimmt. Ein vergleichbarer Befund zeigte sich auch schon in den zuvor genannten Studien (s. o.). Der Autor selbst gibt keine explizite Empfehlung für ein bestimmtes Spiegelsystem, hebt jedoch die Vorteile der Reduzierung des toten Winkels durch eine verbesserte Sicht nach hinten ausdrücklich hervor.

Neben der Analyse von Unfalldaten und der Befragung von Versuchspersonen hat sich eine Vielzahl an Autoren auch experimenteller Versuchsanordnungen bedient, um die Frage zu erforschen, welche Vor- und Nachteile konvexe Außenspiegel im Vergleich zu planen Spiegeln haben. Seit Ende der 60er Jahre werden Studien durchgeführt, die sich mit der Wahrnehmung von Distanzen und Geschwindigkeiten in nicht-planen Spiegeln beschäftigen (z. B. BURGER, MULHOLLAND, SMITH & SHARKEY, 1980 [12]; de VOS, 2000 [85]; de VOS, VAN DER HORST & PEREL, 2001 [86]; FISHER & GALER, 1984 [31]; FLANNAGAN, SIVAK, SCHUMANN, KOJIMA & TRAUBE, 1997 [43]; FLANNAGAN, SIVAK & TRAUBE, 1996 [39]; FLANNAGAN, SIVAK, KOJIMA & TRAUBE, 1998 [42]; MORTIMER, 1971 [67]; MORTIMER & JORGESON, 1974 [66]; SUGIURA & KIMURA, 1978 [80]; WALRAVEN & MICHON, 1969 [88]). Die Untersuchungen kommen dabei fast einhellig zu der Schlussfolgerung, dass Distanzen überschätzt werden (für die Verkehrssicherheit negativ). In Bezug auf die Einschätzung von Geschwindigkeiten ist die Befundlage jedoch weniger eindeutig (MORTIMER, 1971 [67]; FISHER & GALER, 1984 [31]: kein Zusammenhang; BOWLES, 1969 [9]: Unterschätzung der Geschwindigkeit [für die Verkehrssicherheit ne-

gativ], SUGIURA & KIMURA, 1978 [80]: Überschätzung bei langsamen Geschwindigkeiten; vgl. hierzu auch HENDERSON et al., 1983 [51]). Dies kann möglicherweise auch durch die Tatsache begründet werden, dass die meisten Studien Geschwindigkeitsschätzungen nur indirekt erfassen (z. B. über den letzten sicheren Moment für einen Spurwechsel). Mathematisch konnte PLATZER (1995) [72] zeigen, dass sich die Größe eines sich nähernden Fahrzeugs in einem konvexen Spiegel schneller verändert als in einem planen Spiegel. Durch die schnellere Zunahme der Größe sollte das Fahrzeug im konvexen Spiegel daher im Vergleich zum planen Spiegel als schneller wahrgenommen werden. Diese Tatsache beschreibt auch CARRUTHERS (1966) [14], der ebenfalls betont, dass das Größerwerden des Abbilds des Fahrzeugs in einem konvexen Spiegel nicht konstant ist, sondern zunimmt.

Insgesamt sind sich die verwendeten Methoden zur Distanz- und Geschwindigkeitswahrnehmung dabei sehr ähnlich und lassen sich im Allgemeinen einer von zwei Aufgaben („last safe gap“, „magnitude estimation“) zuteilen.

Die größte Verbreitung hat hierbei die Untersuchung des letzten sicheren Moments für einen Spurwechsel („last safe gap“) gefunden. Bei diesem Versuchsdesign sitzt die Versuchsperson in einem stehenden Fahrzeug (ein so genanntes „semidynamisches“ Design) oder fährt aktiv im Verkehr mit („dynamisches Design“). Die Aufgabe besteht nun darin, vor einem überholenden Fahrzeug die Spur zu wechseln. Das überholende Fahrzeug wird dabei durch den jeweiligen zu untersuchenden Außenspiegel beobachtet, wobei MORTIMER & JORGESON (1974) [66] und MORTIMER (1971) [67] den Versuchspersonen zusätzlich gestatteten, den Innenspiegel zur Beurteilung der Distanzen mit zu benutzen. In einigen Studien (z. B. FISHER & GALER, 1984 [31]) wird diese Aufgabe auch als Laborexperiment operationalisiert und die Verkehrssituation nur als Film präsentiert.

Durch diese insgesamt recht realitätsnahen Versuchsanordnungen können Distanzen erfasst werden, die von den Versuchspersonen als gerade noch ausreichend für einen Spurwechsel beurteilt werden. Da sich das überholende Fahrzeug auf die Versuchsperson zubewegt, fließt in die Spurwechselentscheidung zusätzlich eine Geschwindigkeitsschätzung ein.

Obwohl die meisten Studien feststellen konnten, dass die Versuchspersonen mit geringer werdendem Krümmungsradius des Rückspiegels zunehmend kleinere Lücken für einen Spurwechsel akzeptierten (was gleichbedeutend mit einer Wahrnehmungsverzerrung in Richtung größerer Distanzen ist), so ist die Überschätzung der Distanzen abhängig von verschiedenen Faktoren.

So stellten BURGER, MULHOLLAND, SMITH & SHARKEY (1980) [12], MORTIMER (1971) [67] und MORTIMER & JORGESON (1974) [66] fest, dass die Verzerrungen des Außenspiegels durch die Verfügbarkeit eines planen Innenspiegels kompensiert werden können. Wenn die Versuchspersonen zusätzlich zum Außenspiegel einen Innenspiegel benutzen durften, dann gab es, unabhängig vom verwendeten Außenspiegel, keine Unterschiede in der Beurteilung des letzten sicheren Moments für einen Spurwechsel. Auch MORROW & SALIK (1962a) [64] berichten in ihrem Überblick von Empfehlungen, konvexe Außenspiegel und plane Innenspiegel zu verwenden. In ihren Überlegungen zu Rückspiegelsystemen für Lkw kommen auch OLSON & POST (1979) [70] zu der Schlussfolgerung, dass die konvexen Spiegel aufgrund ihrer Eigenschaften gut dafür geeignet sind, den toten Winkel im Nahbereich zu eliminieren. Distanzen sollten ihrer Meinung nach jedoch mit einem planen Spiegel beurteilt werden.

Die Erfahrung mit nicht-planen Spiegeln kann ebenfalls zu einer Reduzierung der Überschätzung führen, sie jedoch nicht vollständig eliminieren (BURGER, MULHOLLAND, SMITH & SHARKEY, 1980 [11]; BURGER, MULHOLLAND, SMITH, SHARKEY & BARDALES, 1980 [12]; FLANNAGAN et al., 1996 [39]). In der Untersuchung von WALRAVEN & MICHON (1969) [88] zeigte sich demgegenüber selbst bei Teilnehmern, die unerfahren waren in Bezug auf den Umgang mit sphärischen Spiegeln, kaum ein Effekt konvexer Außenspiegel. Bei höheren Geschwindigkeiten eines herannahenden Fahrzeugs wurden die unerfahrenen Teilnehmer sogar konservativer in ihren Spurwechselentscheidungen. Unter dem Gesichtspunkt der Erfahrung und des Lernens muss auch ein Befund von de VOS (2000) [85] erwähnt werden. In dieser sehr umfangreichen Studie wurde die bemerkenswerte Beobachtung gemacht, dass Fahrer, die mit sphärischen Spiegeln vertraut waren, die Reduzierung der Objektgröße kompensieren konnten, während Fahrer, die teillasphärische Spiegel gewöhnt waren, nicht in der Lage waren, die Verzerrungen in teilas-

phärischen Spiegeln zu kompensieren. Teilnehmer mit einem sphärischen Spiegel an ihrem eigenen Fahrzeug wählten bei dem sphärischen Experimentalspiegel signifikant größere Lücken für einen Spurwechsel im Vergleich zu Versuchspersonen, die Erfahrungen mit planen oder teilsphärischen Spiegeln hatten. Wenn Fahrer, die teilsphärische Spiegel an ihrem Fahrzeug besaßen, mit planen Testspiegeln fuhren, so wählten sie signifikant größere Lücken als mit dem sphärischen Testspiegel. Diese Befunde sind deswegen so überraschend, weil auch im teilsphärischen Spiegel größere Entfernungen eher im sphärischen Teil des Spiegels gesehen werden und sich das Bild eines sich von hinten nähernden Fahrzeugs nicht so stark von dem Bild in einem sphärischen Spiegel unterscheiden sollte. Ein Grund für diese erstaunlichen Ergebnisse ist daher vielleicht in dem größeren Krümmungsradius der teilsphärischen Spiegel der Versuchspersonen (ca. 2.000 mm) im Vergleich zu sphärischen Spiegeln (ca. 1.600-1.700 mm) in dieser Studie zu sehen. So könnten Fahrer mit einem teilsphärischen Außenspiegel an ihrem eigenen Fahrzeug möglicherweise weniger starke Verzerrungen gewöhnt sein und sie haben kleinere Lücken gewählt, da sie die stärkere Verkleinerung der sphärischen Spiegel nicht gewöhnt waren und daher auch nicht kompensieren konnten. Nach de VOS (2000) [85] deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass Fahrer, die teilsphärische Spiegel gewöhnt sind, weniger Erfahrung mit ihren Spiegeln haben, da diese noch nicht so lange wie sphärische Außenspiegel verfügbar sind. Besitzer von Fahrzeugen mit sphärischen Spiegeln hatten also mehr Zeit, die Eigenschaften ihrer Spiegel kennen zu lernen. Diese Annahme ist jedoch fraglich, da sie sehr lange Lernzeiten voraussetzen würde und die Frage aufwirft, ob es akzeptabel ist, wenn man erst nach einer so langen Zeit die Eigenschaften des Spiegels kompensieren kann.

Wie oben bereits angedeutet wurde, hat auch die Stärke der Krümmung einen Einfluss auf die Beurteilung von Distanzen. In den meisten Untersuchungen zeigten Spiegel mit einer stärkeren Krümmung größere Verzerrungen der Distanzwahrnehmung (z. B. FISHER & GALER, 1984 [31]; SUGIURA & KIMURA, 1978 [80]). So halbiert sich der minimale Sicherheitsabstand bei einem Spiegel mit 600 mm Radius im Vergleich zu einem planen Außenspiegel (FISHER & GALER, 1984 [31]). Einen Überblick über die Ergebnisse verschiedener Stu-

dien und eine grafische Zusammenfassung der gefundenen Überschätzungen konvexer Spiegel mit unterschiedlichen Radien im Vergleich zu planen Spiegeln findet sich bei FLANNAGAN, SIVAK & TRAUBE (1997) [40] und FLANNAGAN et al. (1998) [42]. Wenn man diese Studien miteinander vergleicht, so zeigt sich, dass sich die Distanzschätzungen zwar mit zunehmendem Krümmungsradius verbessern, eine Überschätzung jedoch bestehen bleibt. Da die meisten Untersuchungen sich aber nur mit Rückspiegeln befasst haben, deren Krümmung maximal 2.000 mm war, untersuchten FLANNAGAN et al. (1998) [42] Spiegel mit Radien bis zu 8.900 mm. Die Fragestellung ihres Experiments war, ob die Abnahme der Überschätzungen bei konvexen Spiegeln mit zunehmendem Krümmungsradius dazu führt, dass bei leichten Krümmungen nahezu keine Fehleinschätzungen von Distanzen mehr existieren. Mit solchen Krümmungsradien (z. B. 8.900 mm) hätten dann teilsphärische Rückspiegel ausgerüstet werden können, die aufgrund des asphärischen Teils trotzdem ein großes Sichtfeld nach hinten bieten würden. Die Ergebnisse zeigten jedoch, dass auch bei Radien bis 8.900 mm im Vergleich zu planen Spiegeln noch Überschätzungen auftraten. Die kleinste Überschätzung in diesem Experiment betrug dabei 8 % bei 8.900 mm Krümmungsradius. Die in dieser Untersuchung eingesetzte Methode ist eine im Vergleich zu den oben genannten Spurwechsel-Studien direktere Messung der Distanzwahrnehmung. Bei der so genannten „Magnitude Estimation“-Methode muss die Versuchsperson die Distanz zu einem im Rückspiegel zu sehenden Fahrzeug einschätzen, ohne dass weitere Aufgaben (wie z. B. das tatsächliche Führen eines Fahrzeugs oder Ähnliches) von ihr gefordert werden. Die Beurteilung der Distanz geschieht dabei in Relation zu einer Standarddistanz. Es wird daher ein Fahrzeug in einer bestimmten Entfernung vor das Fahrzeug des Versuchsteilnehmers gestellt und diesem als so genannter „Anker“ ein Wert zugeteilt (es wird z. B. einem 10 Meter entfernten Auto der Wert 100 zugeteilt). Die Distanzen zu den hinter dem Fahrzeug der Versuchsperson positionierten Fahrzeugen werden nun im Vergleich zur „Anker“-Distanz geschätzt (einem 20 Meter hinter der Versuchsperson stehenden Fahrzeug sollte also im obigen Beispiel der Wert 200 zugeteilt werden). Zusammenfassend führt ein kleiner Krümmungsradius zu starken Verzerrungen der Distanzschätzungen, die bei größeren Radien zwar abnehmen, jedoch nicht komplett verschwinden.

Die Distanz zwischen Auge und Spiegel scheint die Distanzschätzungen bei konvexen Spiegeln ebenfalls zu beeinflussen. FLANNAGAN, SIVAK, SCHUMANN et al. (1997) [43] untersuchten diesen Faktor, indem sie mit Hilfe der „Magnitude Estimation“-Aufgabe Distanzen sowohl durch plane als auch konvexe Außenspiegel auf der Fahrer- und Beifahrerseite einschätzen ließen. Der Abstand zwischen Auge und Spiegel auf der Beifahrerseite war dabei fast doppelt so groß wie der Abstand zum Spiegel auf der Fahrerseite (1.226 mm und 651 mm). Während sich für plane Außenspiegel kein Unterschied in der Distanzschätzung für die beiden Spiegelpositionen zeigte, waren die Distanzschätzungen bei konvexen Spiegeln abhängig vom Abstand zwischen Auge und Spiegel. Ein Abstand, der dem durchschnittlichen Abstand zum Außenspiegel auf der Beifahrerseite entsprach, führte im Vergleich zur kleineren Auge-Spiegel-Distanz auf der Fahrerseite zu fast doppelt so großen Überschätzungen (für die Verkehrssicherheit negativ). Die Autoren kommen daher zu der Schlussfolgerung, dass die Einführung von konvexen Außenspiegeln auf der Fahrerseite weniger starke Auswirkungen haben sollte als auf der Beifahrerseite. Trotz dieser Tatsache empfiehlt BOCKELMANN (1990 [5], 1991 [6]) den Einsatz teilasphärischer Außenspiegel sowohl auf der Fahrer- als auch auf der Beifahrerseite. Er begründet dies neben dem größeren Sichtfeld und dem damit verbundenen Sicherheitsgewinn damit, dass ansonsten jeder Spiegel eine andere Informationsart beinhalten würde (Fahrerseite: teilasphärisch, Innenspiegel: plan, Beifahrerseite: sphärisch).

Ein weiterer wichtiger Aspekt der meisten Untersuchungen muss noch erwähnt werden. So scheint es bei planen Spiegeln eine Tendenz zur Unterschätzung von Distanzen zu geben (z. B. FLANNAGAN et al., 1998 [42]; FLANNAGAN, SIVAK, SCHUMANN et al., 1997 [43]). Unterschätzungen von Distanzen sind jedoch positiv für die Verkehrssicherheit zu bewerten. Bei FLANNAGAN et al. (1996) [39] wurden Distanzen mit sphärischen Spiegeln zwar überschätzt, die Distanzschätzungen mit teilasphärischen Rückspiegeln erwiesen sich jedoch als erstaunlich genau. Da die Entfernungen mit planen Spiegeln jedoch auch in dieser Studie unterschätzt wurden, werden die Ergebnisse dahingehend interpretiert, dass sphärische und teilasphärische Spiegel Distanzen im Vergleich zu planen Spiegeln überschätzen (für die Verkehrssicherheit negativ). Viele Autoren berechnen die Fehl-

schätzung mit konvexen Spiegeln im Vergleich zu planen Spiegeln und nicht im Verhältnis zu den realen Distanzen. In Bezug zu den realen Distanzen (und nicht zu Distanzschätzungen mit planen Spiegeln) sind konvexe Spiegel teilweise recht genau (zumindest genauer als plane Spiegel). Wenn konvexe Spiegel daher mit Verzerrungen in Verbindung gebracht werden, so hängt dies auch davon ab, welcher Maßstab als Referenz angesehen wird. Betrachtet man die tatsächliche Entfernung als relevantes Maß, so kommt man möglicherweise zu anderen Ergebnissen, als wenn man plane Spiegel als Referenz nimmt. Die meisten Autoren wählen in diesem Zusammenhang plane Spiegel als Vergleichsgrundlage, da diese sich bei Distanzschätzungen im normalen Verkehrsgeschehen bewährt haben. Ob die Entscheidung für plane Spiegel als Referenz für genaue Distanzschätzungen unter allen Umständen sinnvoll und richtig ist, wird mittlerweile jedoch auch in der Literatur hinterfragt (vgl. FLANNAGAN, SIVAK & MEFFORD, 2002 [38]).

5.2 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend konnten die berichteten Studien zeigen, dass Überschätzungen von Distanzen bei konvexen Spiegeln existieren, diese jedoch je nach Studie unterschiedlich hoch ausfallen. Insgesamt sind diese Überschätzungen aber weniger hoch als von den meisten Autoren erwartet ausgefallen. Es muss dennoch ein Kompromiss zwischen Qualität und Quantität des Sichtfelds gefunden werden, da man nicht ausschließen kann, dass unter bestimmten Bedingungen eine auch in der Fahrpraxis sicherheitsrelevante Überschätzung der Distanzen vorkommen kann (z. B. unter Stress, in Notfällen, vgl. FLANNAGAN, 1988 [33]; FLANNAGAN & SIVAK, 1993 [34]). So bieten sphärisch und teilasphärisch konvexe Spiegel zwar ein größeres Sichtfeld nach hinten, dieses wird im Vergleich zu einem planen Spiegel jedoch verzerrt dargestellt. Das Problem einer fehlerhaften Distanzwahrnehmung kann zwar durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden, aber vollständig lässt es sich anscheinend nicht vermeiden. Sphärische und teilasphärische Spiegel unterscheiden sich in den genannten Studien jedoch selten. Ein Vorteil teilasphärischer Spiegel kann darin gesehen werden, dass dieser im sphärischen Teil eine weniger starke Verzerrung produzieren muss, um das gleiche Sichtfeld wie ein komplett sphärischer Spiegel zu erhalten. Ein Nachteil teilasphärischer Spiegel zeigt-

te sich jedoch in der Untersuchung von de VOS (2000) [85] und de VOS et al. (2001) [86]. Diese Autoren konnten demonstrieren, dass in ihrer Stichprobe ausschließlich die Fahrer, die sphärische Spiegel gewöhnt waren, die verzerrenden Effekte ihres Spiegels kompensieren konnten, nicht jedoch Fahrer mit teilasphärischen Spiegeln an ihrem eigenen Fahrzeug. Studien zu Unfallraten bei Spurwechseln konnten keine negativen Auswirkungen sphärischer oder teilasphärischer Spiegel feststellen, die Benutzung schien im Gegenteil eher mit einer Abnahme an Unfällen einherzugehen. Es scheinen auch weder verstärkte Anstrengungen nötig zu sein, die durch konvexe Spiegel verzerrten Bilder zu verarbeiten und zu interpretieren, noch wird häufiger oder länger in den Außenspiegel geblickt. De VOS et al. (2001) [86] und de VOS (2000) [85] haben zwar zeigen können, dass Fahrer, die an ihrem eigenen Fahrzeug einen sphärischen Spiegel haben, häufiger in den Spiegel schauten als Fahrer mit einem planen Spiegel an ihrem eigenen Pkw. Dies galt jedoch nicht für Fahrer, die teilasphärische Spiegel besaßen. Ihre Blickhäufigkeit unterschied sich nicht signifikant von der anderer Fahrer. Die berichteten Reaktionszeiten in den genannten Artikeln stiegen bei konvexen Spiegeln ebenfalls nicht an. Im Gegensatz dazu haben JANI & MENEZES (1962) [54] in ihrem Laborexperiment jedoch zeigen können, dass es etwas länger dauert, Objekte in einem konvexen im Vergleich zu einem planen Spiegel zu fokussieren. Der Unterschied betrug hierbei im Durchschnitt 0,12 Sekunden (0,11 Sekunden bei jüngeren und 0,15 Sekunden bei älteren Versuchspersonen). Die Autoren kommen aufgrund der ihnen vorliegenden Daten zu der Schlussfolgerung, dass diese zusätzlich benötigte Zeit insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten auf Autobahnen und bei älteren Verkehrsteilnehmern von Bedeutung sein könnte.

BOCKELMANN (1990 [5], 1991 [6]) weist des Weiteren darauf hin, dass die Spiegelgehäuse vor einer großflächigen Einführung teilasphärischer Außenspiegel einer Überarbeitung bedürfen. Da viele Spiegel zu tief im Gehäuse liegen, könnten die Vorteile der asphärischen Fläche nicht vollständig ausgenutzt werden.

In Bezug auf die unterschiedlichen experimentellen Methoden (Spurwechsel und direkte Schätzung der Distanzen durch Magnitude Estimation) haben FLANNAGAN et al. (1998) [42] festgestellt, dass die Ergebnisse keine großen Unterschiede aufweisen. In der vorhandenen Literatur gibt es insgesamt we-

nige Untersuchungen, die explizit die Vor- und Nachteile sphärischer und teilasphärischer Spiegel miteinander verglichen haben. Hier besteht daher ebenso die Notwendigkeit weiterer Studien zu diesem Thema wie zur Frage, inwieweit die zusätzliche Verwendung des Innenspiegels die negativen Auswirkungen nicht-planer Spiegel kompensieren kann. In den wenigen Studien, die diesen Faktor in ihr Versuchsdesign aufgenommen haben, zeigten sich positive Auswirkungen des Innenspiegels auf die Distanzschätzungen. Der asphärische Teil eines Außenspiegels wird dann möglicherweise nur für eine letzte Überprüfung herangezogen, ob man die Spur wechseln kann oder nicht („Go or no-go“-Indikator). Wie sich in den Fragebögen zeigte, besteht auch Handlungsbedarf in Bezug auf das Wissen der Fahrer über ihre eigenen Spiegel und die Eigenschaften sphärischer und teilasphärischer Spiegel. Weitere Vorschläge für Bereiche, die dringend zusätzlicher Untersuchungen bedürfen und Anregungen für Forschungsansätze finden sich z. B. bei FLANNAGAN & SIVAK (1996) [35].

Abschließend soll hier die Argumentation von de VOS (2000) [85] und de VOS et al. (2001) [86] zum Einsatz konvexer Spiegel und zur Abwägung der Vor- und Nachteile berichtet werden. Die Autoren vergleichen die Vorteile der Reduzierung des toten Winkels mit dem Nachteil des Wählens kleinerer Lücken bei Spurwechseln. Unter dem Gesichtspunkt der Unfallvermeidung wird nun die Frage aufgeworfen, inwieweit der Fahrer auf der benachbarten Spur die Situation kontrollieren und einen Unfall vermeiden kann. Im Falle einer zu kleinen Lücke besteht nach der Forschergruppe um de VOS für den von hinten kommenden Fahrer eher die Möglichkeit, den Fehler zu kompensieren, da er noch frühzeitig mit Bremsen oder Ausweichen reagieren kann. Ist der Fahrer in der benachbarten Spur jedoch schon im toten Winkel und daher sehr nah, so bestehen weniger Optionen, eine gefährliche Situation zu vermeiden. Die Autoren kommen daher zu der Schlussfolgerung, dass eine Verbesserung der Sicht im toten Winkel wichtiger als der Nachteil der Verkleinerung der akzeptierten Lücken beim Spurwechsel ist. Daher sollten nicht-plane Spiegel vorteilhaft für die Sicherheit sein. Einen Überblick über die zu diesem Thema durchgeführten Studien gibt Kapitel 5.3. Neben den Ergebnissen der Untersuchungen werden, sofern sie verfügbar sind, auch die Empfehlungen bezüglich der Verwendbarkeit konvexer Außenspiegel wiedergegeben.

5.3 Übersicht bisheriger Studien

Autoren	Methode	Vpn	Krümmungsradius	Ergebnisse	Empfehlung
BOCKELMANN (1990 [5], 1991 [6])	Überblicksartikel	--	--	--	Der Autor befürwortet den Einsatz teilsphärischer Spiegel für beide Fahrzeugseiten.
BOWLES (1969) [9]	Spurwechsel (dynamisch)	8	plan und 48 Inch sphärisch	Überschätzung von Distanzen mit konvexen Spiegeln	Für die meisten Leute sind in kritischen Fahrsituationen plane Spiegel sphärischen Spiegeln vorzuziehen.
BURGER, MULHOLLAND, SMITH & SHARKEY (1980) [11]	1. Spurwechsel (semi-dynamisch) 2. Null Match	1. 12 2. 12	80, 55, 40 und 20 Inch sphärisch (insgesamt 46 Spiegelsysteme)	1. Keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Krümmungsradien, aber höhere Unzufriedenheit bei stärkerer Krümmung. 2. Überschätzung von Distanzen bei kleineren Radien, besonders bei größeren Distanzen.	Sphärische Spiegel mit 55 Inch Krümmungsradius werden empfohlen.
CARRUTHERS (1966) [14]	Überblicksartikel	--	--	--	Keine Empfehlung, Vor- und Nachteile planer und konvexer Spiegel werden diskutiert. Bei konvexen Spiegeln wird eine Eingewöhnungsphase benötigt, dann sollten jedoch keine Probleme mehr auftreten.
CONNOLLY (1964) [18]	Überblicksartikel	--	--	--	Keine Empfehlung, aber der Autor schlägt zur Verbesserung der rückwärtigen Sicht ein größeres Sichtfeld von mindestens 44° vor, um den toten Winkel zu eliminieren.
FISHER & GALER (1984) [31]	Spurwechsel (Laborexperiment, Filme)	21	plan, 1.950, 1.400 und 600 mm sphärisch	Kleinere Lücken werden mit zunehmender Krümmung akzeptiert.	Vorteile konvexer Spiegel werden gesehen, weitere Analysen sind notwendig, 600 mm Krümmung sind zu stark und damit unsicher.
FLANNAGAN & FLANNAGAN (1998) [32]	Befragung (nach 4 Wochen Test mit nicht-planem Spiegel)	114	1.500 und 2.000 mm sphärische Spiegel + 3 teilsphärische Spiegel mit unterschiedlichem Anteil variabler Krümmung: 34, 40 oder 66 % der Spiegelbreite	Nach 4 Wochen wurden alle nicht-planen gegenüber planen Spiegeln bevorzugt.	--
FLANNAGAN & SIVAK (1993) [34]	Überblicksartikel	--	--	--	Vorteile teilsphärischer gegenüber sphärischer Spiegel werden betont.
FLANNAGAN (2000) [37]	Überblicksartikel	--	--	--	Nicht-plane Spiegel werden generell positiv beurteilt, es werden keine schwer wiegenden Probleme mit nicht-planen Spiegeln erwartet, sondern eher ein Sicherheitsgewinn.
FLANNAGAN, SIVAK & TRAUBE (1996) [39]	Magnitude Estimation (Feldexperiment, statisch)	24	plan, sphärisch 1.000 mm und teilsphärisch mit 1.400 mm im sphärischen Teil	Nicht-plane Spiegel führen zu Überschätzung von Distanzen im Vergleich zu planen Spiegeln. Plane Spiegel unterschätzten, teilsphärische waren sehr genau. Es gab Anzeichen für Lerneffekte.	Wenn eine deutliche Adaptation an die Spiegel möglich ist, dann wird die Benutzung nicht-planer Rückspiegel nachdrücklich empfohlen.
FLANNAGAN, SIVAK, KOJIMA & TRAUBE (1998) [42]	Magnitude Estimation (Feldexperiment, statisch)	12	plan, 2.100, 3.300, 5.400 und 8.900 mm sphärisch	Distanzen werden auch mit konvexen Spiegeln mit Radien bis 8.900 mm überschätzt; je kleiner der Radius ist, desto höher werden die Distanzschätzungen.	Unentschieden in Bezug auf den Kompromiss zwischen Qualität und Quantität des Sichtfelds.
FLANNAGAN, SIVAK, SCHUMANN, KOJIMA & TRAUBE (1997) [43]	Magnitude Estimation (Feldexperiment, statisch)	8	plan und 1.400 mm sphärisch	Überschätzung von Distanzen bei konvexen Spiegeln, größere Überschätzung bei größerem Auge-Spiegel Abstand.	Effekte auf Beifahrerseite größer, daher Einführung konvexer Spiegel auf Fahrerseite weniger problematisch.

Autoren	Methode	Vpn	Krümmungsradius	Ergebnisse	Empfehlung
FOSBERRY & MILLS (1959) [45]	Überblicksartikel, Vermessung der Sichtverhältnisse	--	--	--	Bei Nutzfahrzeugen werden auf der Fahrerseite konvexe Außenspiegel empfohlen, für andere Fahrzeuge werden keine Empfehlungen in Bezug auf Rückspiegel ausgesprochen.
HELMERS, FLANNAGAN, SIVAK, OWENS, BATTLE & SATO (1992) [50]	Reaktionszeit beim Entdecken von Fahrzeugen (Laborexperiment; statisch)	24	plan, sphärisch 2.100 mm und teilasphärisch mit 2.100 mm im sphärischen Teil	Reaktionszeit mit teilasphärischem Spiegel am kürzesten, am längsten mit planem Spiegel. Ältere Vpn längere Reaktionszeiten als jüngere. Bei sphärischen Spiegeln mehr Fehler als bei planen oder teilasphärischen Spiegeln.	Keine Empfehlung, da in dieser Studie nur die qualitative Frage nach dem Vorhandensein eines Fahrzeugs gestellt wurde (Ja-Nein-Entscheidung), aber keine Distanzschätzungen erfragt wurden.
HENDERSON, SMITH, BURGER & STERN (1983) [51]	Überblicksartikel	--	--	--	Teilasphärische Spiegel stellen möglicherweise einen Kompromiss zwischen den Eigenschaften sphärischer und planer Spiegeln dar.
JANI & MENEZES (1962) [54]	Anzahl erkannter Symbole in einer Minute (Laborexperiment)	14	plan und 41 Inch	Keine statistischen Analysen durchgeführt, aber es wurden mehr Zeichen mit dem planem Spiegel erkannt, im Durchschnitt brauchten die Vpn 0,12 Sekunden länger, um den sphärischen Spiegel zu fokussieren, ältere Teilnehmer brauchten durchschnittlich sogar 0,15 Sekunden länger.	Keine Empfehlung, aber: Einige, insbesondere ältere, Personen könnten mit einem konvexen Spiegel Schwierigkeiten haben, Details des folgenden Verkehrs klar zu erkennen. Die zusätzlich aufzubringende Zeit zum Fokussieren könnte bei höheren Geschwindigkeiten von Bedeutung sein.
KAHN (1975 [55], 1976 [56])	Befragung nach Testfahrten	515; 150	Verschiedene Spiegelsysteme mit planen und konvexen (50 oder 60 Inch) Spiegeln unterschiedlicher Größe	Konvexe Spiegel wurden am Kotflügel platziert, waren teilweise nicht einzustellen. Ein System mit größerem planem Spiegel auf der Fahrerseite wurde gegenüber dem getesteten System mit einem konvexen Spiegel auf der Fahrerseite bevorzugt.	Es wurden keine teilasphärischen Spiegel untersucht. Vorteile der Reduzierung des toten Winkels werden erkannt. Keine Empfehlung. Ergebnisse dieser (eher unrealistischen) Spiegelsysteme lassen keine eindeutigen Schlussfolgerungen zu.
KELLEY & PROSIN (1969) [57]	Überblicksartikel	--	--	--	Die Autoren ziehen einen gekrümmten Spiegel einem planen Spiegel mit zu kleinem Sichtfeld vor.
LANG (2004)[58]	Messung von Fehleinstellungen des Außenspiegels	26	9 Vpn hatten auf der Fahrerseite einen planen, 6 einen sphärisch, 11 einen teilasphärisch Spiegel.	24 von 26 Versuchspersonen hatten den Spiegel so eingestellt, dass sie einen Großteil ihres Fahrzeuges erkennen konnten.	Vorteile des teilasphärischen Spiegels gegenüber planen und konvexen Spiegeln werden betont. Fehleinstellungen können besser kompensiert werden.
LUOMA, SIVAK & FLANNAGAN (1995) [59]	Analyse von Spurwechselunfällen	407 Unfälle	plan, sphärisch (55 % der Fahrzeuge mit Radien zwischen 1.400 und 2.000 mm) und teilasphärisch (2.000 mm im sphärischen Teil und 140-800 mm im asphärischen Teil)	Keine Unterschiede zwischen sphärischen und teilasphärischen Spiegeln. Tendenz zu weniger Unfällen bei nicht-planen im Vergleich zu planen Spiegeln.	Empfehlung von sphärischen und teilasphärischen Spiegeln. Minimierung des toten Winkels scheint wichtiger als ein unverzerrtes Bild zu sein.
MCINTYRE, MCCORD & DALBY (1995) [62]	Überblicksartikel (ausschließlich Lkw)	--	--	--	Zusätzliche teilasphärische Spiegel werden empfohlen.
MORROW & SALIK (1962b) [65]	Überblicksartikel	--	--	--	Die Benutzung von konvexen Spiegeln mit einem Krümmungsradius von weniger als 41 Inch wird empfohlen.
MORTIMER & JORGESON (1974) [66]	Spurwechsel (dynamisch)	8	plan und 48 Inch (1,22 m) sphärisch (zusätzliche Nutzung des Innenspiegels war erlaubt)	In Bezug auf die Größe der akzeptierten Lücke gibt es keine Unterschiede zwischen Tag und Nacht und Art des Spiegels. Keine Unterschiede zwischen Spiegeln bei Aufgaben, die die Sicherheit betreffen.	Vorteile durch größeres Sichtfeld bei konvexen Spiegeln; keine Nachteile, wenn zusätzlich ein planer Innenspiegel benutzt wird.

Autoren	Methode	Vpn	Krümmungsradius	Ergebnisse	Empfehlung
MORTIMER (1971) [67]	Spurwechsel (dynamisch)	36 (18 pro Versuch)	plan, 47 und 29 Inch sphärisch (zusätzliche Nutzung des Innenspiegels in Versuch 2 erlaubt)	Ohne Innenspiegel Überschätzung der Distanzen, diese ist größer bei kleinerem Krümmungsradius; mit Innenspiegel keine Unterschiede; Beurteilung der Geschwindigkeit kein Problem mit konvexen Spiegeln.	Konvexe Spiegel sind einigermaßen sicher und die Vorteile überwiegen.
OLSON & POST (1979) [70]	Überblicksartikel (ausschließlich Lkw)	--	--	--	Zusätzliche konvexe Spiegel (Radius > 20 Inch) zur Eliminierung des toten Winkels; Distanzschätzung sollten mit planem Spiegel durchgeführt werden.
PILHALL (1981) [71]	Überblicksartikel	--	--	--	Teilasphärische Außenspiegel werden empfohlen (optimaler Radius des sphärischen Teils 2.000 mm).
ROWLAND, SILVER, VOLINSKY, BEHRMAN, NICHOLS & CLISHAN (1970) [73]	Viele unterschiedliche kleine Experimente (insgesamt 15) (statisch, semidynamisch, dynamisch)	insgesamt 150 verschiedene Vpn (zwischen 3 und 34 Vpn pro Versuch)	Außenspiegel: 200 Inch (für die Autoren entspricht dies einem planem Spiegel), 80, 40 und 20 Inch sphärisch Innenspiegel: 200, 20, 12 ¹ / ₂ und 10 Inch	Unterschätzung bei planem Spiegel, ausgeglichene Schätzungen mit 80 Inch konvexen Spiegeln; Überschätzung mit zunehmender Krümmung. Lokalisierung von Zielen ist nicht schlechter, sondern meistens besser als mit planem Spiegeln; Anpassung und Lernen ist bei konvexen Spiegeln nötig, aber möglich; keine Unterschiede zwischen Leistungen bei Tag und Nacht.	Sphärische Spiegel mit 40 Inch Krümmungsradius sind ein zufrieden stellender Kompromiss in Bezug auf Krümmung, daher wird dieser Radius für alle Spiegel (links, rechts, innen) empfohlen. Es wird weiterhin empfohlen, Spiegel mit Radien < 20 Inch und > 80 Inch und auch plane Spiegel zu vermeiden.
SAND, van de SCHRÜLL-KAMP & WALLEN-TOWITZ (2001) [83]	Literaturanalysen, Messung seitlicher und rückwärtiger Sichtfelder bei Kraft-rädern	--	sphärisch konvex und asphärisch	Die Sichtwinkel betragen ca. 20°. Teilasphärische Spiegel boten einen zusätzlichen Überblick über den rückwärtigen Verkehr. Eine Eingewöhnungszeit und eine leichte Verzerrung der Abbildungsqualität wurden jedoch beobachtet.	Der Einsatz teilasphärischer Spiegel ist möglich, die gesetzlichen Werte sollen aber bereits durch den sphärischen Teil erfüllt werden.
SCHUMANN, SIVAK & FLANNAGAN (1998) [76]	Analyse von Spurwechselunfällen	3.038 Unfälle	plan und 1.400 (± 200) mm sphärisch	Keine Belege für eine Zunahme an Unfällen bei konvexen Spiegeln im Vergleich zu planem Spiegeln, tendenziell eher weniger Unfälle. Besondere Vorteile bei jungen und alten Fahrern (Hochrisikogruppe).	Vorteile teilasphärischer Spiegel werden betont, da der tote Winkel reduziert wird, die Verkleinerung von Objekten aber für große Teile des Spiegels geringer ist als bei sphärischen Spiegeln.
SMITH, BARDALES & BURGER (1978) [77]	Distanzschätzungen (Einheit Feet) (Labor-experiment, Filme)	47 (Sitzung 1-3); 45 (4. Test-sitzung)	plan und 50 Inch (1.270 mm) sphärisch	Positive Auswirkungen (i. S. von Reduzierung von Fehleinschätzungen) von Training und Lernen wurden gefunden.	--
SUGIURA & KIMURA (1978) [80]	Null Match (semi-dynamisch)	10	plan, 1.500, 1.200, 900, 600 und 300 mm sphärisch	Mit kleinerem Krümmungsradius größere Überschätzung der Distanzen; bei planem Spiegeln Tendenz zur Unterschätzung.	Konvexe Spiegel mit Radien < 900 mm sind nicht empfehlenswert, 900-1.200 mm sind zu empfehlen.
VOS, de (2000) [85]	1. Befragung 2. Spurwechsel (dynamisch)	1. 208 2. 36	1. plan, sphärisch und teil-asphärisch 2. plan, 1.400 mm sphärisch, teil-asphärisch mit 1.400 oder 2.000 mm im sphärischen Teil	1. weniger als die Hälfte der Fahrer kennt die Eigenschaften ihres Spiegels, nur ein Drittel weiß, was für einen Spiegel sie haben. 2. Akzeptanz kleinerer Lücken bei nicht-planen Spiegeln. Fahrer, die sphärische Spiegel gewöhnt sind, konnten die verzerrenden Eigenschaften sphärischer Spiegel kompensieren. In Bezug auf den toten Winkel teilasphärische Spiegel besser als sphärische und plane Spiegel.	Nicht-plane Rückspiegel auf der Fahrerseite sind vorteilhaft für die Sicherheit.

Autoren	Methode	Vpn	Krümmungsradius	Ergebnisse	Empfehlung
VOS, de, HORST, van der & PEREL (2001) [86]	Spurwechsel (dynamisch)	36	plan, 1.400 mm sphärisch, teilasphärisch mit 1.400 oder 2.000 mm im sphärischen Teil	Akzeptanz kleinerer Lücken bei nicht-planen Spiegeln. Fahrer, die sphärische Spiegel gewöhnt sind, konnten die verzerrenden Eigenschaften sphärischer Spiegel kompensieren. In Bezug auf den toten Winkel teilasphärische Spiegel besser als sphärische und plane Spiegel.	Nicht-plane Rückspiegel auf der Fahrerseite sind vorteilhaft für die Sicherheit.
VOS, de, THEEUWES & PEREL (1999) [87]	Befragung	47	plan, 2.045 (SD = 931) mm sphärisch und 1.900 (SD = 297) mm teilasphärisch	45 % der Befragten kannten ihren Spiegeltyp. Es gibt Unterschiede in der Benutzung und den Präferenzen bei planen, sphärischen und teilasphärischen Spiegeln.	--
WALRAVEN & MICHON (1969) [88]	Spurwechsel (dynamisch)	12	plan, 600 und 1.200 mmm	Unerfahrene Personen werden bei konvexen Spiegeln mit zunehmender Geschwindigkeit konservativer.	Konvexe Spiegel mit einem Krümmungsradius nicht kleiner als 1.200 mm.

6 Empirische Untersuchungen

Im Folgenden werden die im Rahmen des Projektes durchgeführten Experimente beschrieben. Bei der Planung der Experimente wurde „zweiseitig“ an die Fragestellung herangegangen, d. h., die ersten beiden Experimente wurden so geplant, dass eventuelle Defizite teilasphärischer Außenspiegel möglichst eindeutig entdeckt werden. Die Defizite teilasphärischer Spiegel lagen – nach Meinung der Autoren – in der verzerrungsbedingt schlechteren Abbildungsqualität. Diese könnte Auswirkungen auf Distanz- und/oder Geschwindigkeitsschätzungen haben. Experiment 1 prüfte daher auf Unterschiede in der Distanzschätzung mit planen, sphärischen und teilasphärischen Außenspiegeln. Experiment 2 sollte dann in einem etwas realitätsnäheren Versuchsaufbau die Geschwindigkeitsschätzungen mit teilasphärischen Spiegeln einer Überprüfung unterziehen. Dies wurde durch die Schätzung von Kontaktzeit mit einem anderen Fahrzeug operationalisiert und wiederum mit der Leistung mit planen und sphärischen Spiegeln verglichen. Nachdem durch die ersten beiden Experimente die eventuellen Nachteile herausgearbeitet wurden, diente das dritte Experiment dazu, die möglichen Vorteile teilasphärischer Spiegel zu überprüfen. Die Vorteile bestehen in einem größeren Sichtfeld, das jedoch nicht durch längere Reaktionszeiten bei Spurwechselentscheidungen erkauft werden sollte.

Soweit in den jeweiligen Auswertungen nichts anderes berichtet wird, wurden alle statistischen Analysen mit SPSS in den Versionen 11 und 12 bei einem Alpha-Niveau von 5 % berechnet.

6.1 Erstes Experiment

Das erste Experiment wurde im Januar 2004 durchgeführt. Ziel dieses Versuchs war eine erste Überprüfung der Frage, ob sich die Distanzschätzungen mit einem planen, sphärischen und teilasphärischen Außenspiegel signifikant voneinander unterscheiden. Im Folgenden werden die Methode und die Durchführung dieses Feldexperiments mit statischem Versuchsdesign kurz beschrieben, danach werden die Ergebnisse dargestellt und diese im Anschluss diskutiert und mit Befunden der Literatur verglichen.

6.1.1 Versuchsaufbau

Teilnehmer des Experiments

A priori wurde eine Planung des Stichprobenumfangs durchgeführt. Bei einem α -Niveau von 5 %, einer Teststärke $1 - \alpha$ von 80 % und unter Annahme eines kleinen bis mittleren Effekts ($f = .20$) ergab sich eine Stichprobengröße von 17 Versuchspersonen für den relevanten Haupteffekt des Spiegels und von 26 Versuchspersonen für die Interaktion der zwei Faktoren Spiegel • Distanz. Dementspre-

chend wurden 26 Versuchspersonen als minimale Stichprobengröße festgelegt. Insgesamt nahmen 27 Versuchspersonen an diesem Experiment teil, zwei mussten nachträglich jedoch von den Analysen ausgeschlossen werden, da bei einem Teilnehmer Fehler in der Durchführung des Experiments auftraten und die Daten der anderen Versuchsperson darauf hindeuteten, dass sie die Instruktion falsch verstanden hatte. Voraussetzung für die Teilnahme an dem Experiment war der Besitz eines Pkw-Führerscheins. Es nahmen ausschließlich Studentinnen und Studenten des Fachs Psychologie der Universität Trier teil, die im Rahmen ihrer Ausbildung für ihre Teilnahme mit einer halben Versuchspersonenstunde entlohnt wurden. Das Durchschnittsalter betrug 21,8 Jahre, wobei die jüngste Person 19 Jahre und die älteste 31 Jahre alt war. 16 Versuchspersonen waren weiblich und 9 männlich. Falls Fehlsichtigkeiten auf Seiten der Teilnehmer vorhanden waren, so wurden diese durch geeignete Maßnahmen (Brille, Kontaktlinsen) korrigiert.

Methode

Im Kapitel 5 „Stand der Forschung“ wurde dargestellt, dass die meisten der bisher durchgeführten Studien die Distanzschätzungen durch sphärische und teilasphärische Spiegel zu Schätzungen mit planen Außenspiegeln in Beziehung gesetzt haben. Aus diesem Grund wurden auch in dem ersten Experiment Distanzen mit sphärischen (Krümmungsradius 1.400 mm) und teilasphärischen (Krümmungsradius asphärischer Teil von 2.000 mm bis ca. 160 mm) Außenspiegeln beurteilt und diese dann mit den Schätzungen mit einem planen Spiegel verglichen. Die Distanzschätzungen mit dem planen Spiegel dienten somit als Kontrollvariable. Es wird angemerkt, dass die Spiegel so gewählt wurden, dass sie eine möglichst große Population widerspiegeln. Verwendet wurden daher Golf-III-Spiegelgehäuse mit entsprechenden Spiegeltypen (plan sphärisch konvex, teilasphärisch), deren Größe (Breite ca. 170 mm, Höhe ca. 100 mm) und Krümmungsradien häufig auftreten, was aus den Untersuchungen zum Ausrüstungsstand hervorgeht (vgl. Kapitel 3.1).

Um zusätzlich untersuchen zu können, ob die Entfernung zum Versuchsfahrzeug in Abhängigkeit von den drei Spiegeln einen Einfluss auf die Distanzschätzung hat, wurden 5 verschiedene Distanzen zwischen 4 und 20 Metern untersucht.



Bild 6.1: Fahrzeug mit Versuchsperson (Vordergrund) und Testobjekt (Hintergrund)

Die beiden unabhängigen Variablen in diesem Versuch waren daher die Art des Spiegels (plan, sphärisch, teilasphärisch) und die Entfernung des einzuschätzenden Objekts (4, 8, 12, 16, 20 Meter). Es wurde also ein zweifaktorieller Versuchsplan mit kompletter Messwiederholung realisiert.

Als abhängige Variable fungierte die Entfernungseinschätzung, die mit Hilfe der Methode des „Magnitude Estimation“ erfasst wurde. Dieses Verfahren wurde im Rahmen verschiedener Studien erfolgreich eingesetzt und wurde daher schon im Kapitel 5 „Stand der Forschung“ beschrieben. Distanzschätzungen in Metern sind für viele Menschen nicht leicht und deshalb wurde auf die etablierte Methode „Magnitude Estimation“ zurückgegriffen, da sie eine einfache Möglichkeit darstellt, eine Distanz im Verhältnis zu einer Standarddistanz zu schätzen.

Vor Beginn des eigentlichen Experiments wurde den Versuchspersonen ein kurzer Fragebogen vorgegeben, sodass Informationen zur Nutzung des Spiegels, (Vor-)Erfahrungen mit verschiedenen Arten von Spiegeln, zur Art des Spiegels am eigenen Fahrzeug und zum Fahrverhalten (jährliche Fahrleistung, Häufigkeit der Nutzung für Autobahn-, Landstraßen- oder Stadtfahrten) der Teilnehmer vorliegen. Diese Daten konnten in den Analysen verwendet werden, um Aussagen über mögliche Lern- und Erfahrungseffekte mit unterschiedlichen Spiegelsystemen empirisch zu begründen. Zu diesem Zweck wurden die Versuchspersonen in Abhängigkeit von ihrer Erfahrung mit teilasphärischen Spiegeln einer von 3 Gruppen zugeteilt: 1. „Viel Erfahrung mit teilasphärischen Spie-

geln“, 2. „Wenig Erfahrung mit teilasphärischen Spiegeln“ und 3. „Keine Erfahrung mit teilasphärischen Spiegeln“. Das Zuteilungskriterium zur ersten Kategorie mit viel Erfahrung war eine jährliche Fahrleistung von mehr als 10.000 km mit teilasphärischen Spiegeln. Folglich befanden sich in der zweiten Kategorie Versuchspersonen mit weniger als 10.000 km jährlicher Fahrleistung mit teilasphärischen Außenspiegeln. Die dritte Gruppe umfasste alle anderen Versuchspersonen, unabhängig von ihrer jährlichen Fahrleistung und ihrem Außenspiegel (entweder plan oder sphärisch). Die Gruppeneinteilung geschah auf diese Weise, da die Hauptfragestellung die Verkehrssicherheitsaspekte teilasphärischer Außenspiegel betrifft und das Differenzierungsvermögen in Bezug auf die Erfahrungen mit diesem Spiegel am größten sein sollte.

Da es in diesem ersten Experiment zunächst darum ging, zu einer ersten Beurteilung über die verschiedenen Spiegel zu gelangen, wurden die unterschiedlichen Eigenschaften der Spiegel durch das gewählte Versuchsdesign besonders hervorgehoben. Daher wurde der teilasphärische Spiegel im Experiment so abgeklebt, dass ausschließlich der asphärische Teil zur Distanzschätzung verwendet werden konnte. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden auch die sphärischen und planen Spiegel so abgedeckt, dass nur eine genauso große Fläche wie beim teilasphärischen Spiegel genutzt werden konnte. Die Spiegel wurden zudem so vorbereitet, dass sie während des Versuchs leicht ausgetauscht werden konnten. Der Innenspiegel und der rechte Außenspiegel wurden bei dem Versuchsfahrzeug komplett abgeklebt, um zu gewährleisten, dass die Distanzschätzungen ausschließlich mit Hilfe der Informationen des linken Außenspiegels geschahen. Das Testobjekt wurde zwar in unterschiedlichen Entfernungen zum Fahrzeug der Versuchsperson platziert, hatte zu diesem jedoch immer einen seitlichen Abstand von ca. 1,5 Metern (siehe Bild 6.2).

Ein Vorversuch ergab, dass zur Beobachtung des Testobjekts eine Zeitspanne von $2 \cdot 2$ Sekunden die besten Ergebnisse erbrachte. 2 Sekunden waren den befragten Versuchspersonen zu kurz, da sie diese Zeit für eine erste Orientierung benötigten, 5 Sekunden erschienen den Teilnehmern demgegenüber als deutlich zu lang. Aus diesem Grund wurde eine Zeitspanne von $2 \cdot 2$ Sekunden gewählt, die auch in Bezug auf ein normales Blickverhalten während der Fahrt als realistisch angesehen

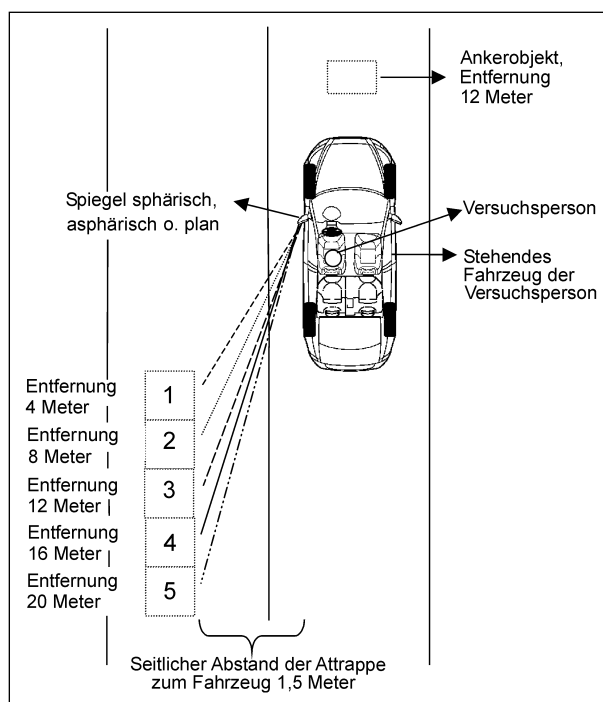


Bild 6.2: Versuchsaufbau Experiment 1, Methode der Distanzschätzung

werden kann. Diese Zeitspanne entspricht ungefähr der benötigten Zeit für zwei kurze Blicke in einen Außenspiegel.

6.1.2 Durchführung

Jede Versuchsperson wurde individuell getestet, die Durchführungszeit betrug pro Person ungefähr eine halbe Stunde. Das Experiment wurde bei Tageslicht und bei geeigneten Witterungsbedingungen (kein Regen oder Schnee) auf einer wenig befahrenen Straße durchgeführt. Die Position des Versuchsfahrzeugs wurde variiert, um die am Rand der Straße zur Verfügung stehenden Tiefenreize, die zur Orientierung hätten dienen können, zu verändern. Die Versuchsperson nahm auf dem Fahrersitz des Versuchsfahrzeugs Platz und erhielt ihren Fragebogen und die Instruktionen. Es standen drei Versuchsleiter zur Verfügung. Ein Versuchsleiter saß neben der Versuchsperson im stehenden Fahrzeug, gab die Instruktionen und den Fragebogen und notierte die Antworten der Versuchsperson. Ein zweiter Versuchsleiter variierte mit Hilfe einer ca. $1,5 \cdot 1,5$ Meter großen und bemalten Fahrzeugattrappe aus Holz die einzuschätzenden Distanzen, während der dritte Versuchsleiter neben dem Fahrzeug stand, die Spiegel austauschte und während des Versuchs die Spiegelfläche für eine Zeitspanne von $2 \cdot 2$ Sekunden aufdeckte und somit die Sicht auf die Fahrzeugattrappe freigab.

Die ersten 2 Sekunden konnte die Versuchsperson zur Orientierung verwenden, nach Ablauf der zweiten 2 Sekunden musste sie eine Distanzschätzung abgeben. Die verwendete Methode zur Distanzschätzung war, wie gesagt, „Magnitude Estimation“. Es wurde daher ein Objekt als Anker 12 Meter vor das Fahrzeug der Versuchsperson gestellt und diesem Objekt eine Entfernung von 100 zugeteilt. Die Versuchsperson sollte daraufhin die Distanz der im Rückspiegel zu sehenden Objekte im Verhältnis zu dem Anker einschätzen (vgl. Bild 6.2). Das Ankerobjekt blieb über die ganze Versuchsdauer sichtbar. Jede Versuchsperson durchlief in diesem Experiment alle Bedingungskombinationen (3 Spiegel \cdot 5 Distanzen = 15 Durchgänge). Die Reihenfolge der Bedingungen wurde dabei randomisiert und war somit für die Versuchsperson nicht vorhersagbar und bei jeder Versuchsperson unterschiedlich. Dadurch konnten eventuell auftretende Störvariablen kontrolliert werden. Versuchsleitereffekte konnten dadurch reduziert werden, dass sowohl die Instruktionen schriftlich vorgelegt wurden, als auch durch die Tatsache, dass der Versuchsleiter, der die Daten der Versuchsperson im Fahrzeug erfasste, keine Kenntnis über die gerade durchgeführten Bedingungskombinationen hatte.

6.1.3 Ergebnisse

Als Erstes wurde im Rahmen der Auswertung berechnet, wie der Zusammenhang zwischen den physikalischen Distanzen und den Schätzungen mathematisch beschrieben werden kann. Die Analysen ergaben, dass dieser Zusammenhang für alle drei Spiegel (plan, sphärisch und teilasphärisch) linear ist. Eine nicht-lineare Funktion, wie z. B. eine psychophysische Funktion der Form $J = k \cdot D^n$, die in der psychologischen Literatur im Bereich der Wahrnehmung häufig zu finden ist, ergab keine bessere Anpassung an die Daten. Die Linearität lässt sich auch in einer grafischen Darstellung sehr gut verdeutlichen (vgl. Bild 6.4).

Die Hauptfragestellung befasste sich jedoch damit, inwieweit die Krümmung des teilasphärischen Außenspiegels die Distanzschätzung im Vergleich zum planen Spiegel und zu den realen Distanzen beeinträchtigt. Der hierfür relevante Haupteffekt „Spiegel“ wurde mit $F(2, 44) = 10.35$, $p < .001$ hochsignifikant. Auch dies lässt sich durch Bild 6.4 hervorragend veranschaulichen. Da es bei der verwendeten Methode des „Magnitude Estimation“ geeignet erschien, die Berechnungen sowohl

unter Einbeziehung des arithmetischen als auch des geometrischen Mittels zu machen (vgl. hierzu z. B. BORTZ [8], 1993, S. 39), wurden die Daten mittels Logarithmieren entsprechend transformiert und danach erneut eine Varianzanalyse durchgeführt. Dies hatte auf die Ergebnisse jedoch keinen Einfluss. Berichtet werden daher nur die Ergebnisse der Berechnungen mit Hilfe des arithmetischen Mittels, da dieses häufiger angewendet wird.

Sowohl der sphärische ($F(1, 22) = 13.173$, $p = .001$) als auch der teilasphärische Spiegel ($F(1, 22) = 12.516$, $p = .002$) unterscheiden sich signifikant vom planen Spiegel. Der sphärische Spiegel unterscheidet sich jedoch nicht vom teilasphärischen Spiegel ($F(1, 22) < 1$, nicht signifikant).



Bild 6.3: Testobjekt im konvexen Rückspiegel

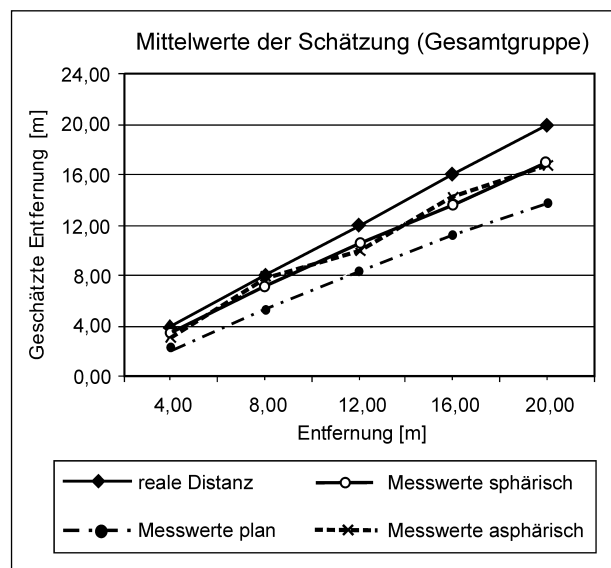


Bild 6.4: Mittelwerte der Distanzschätzungen (in Metern) mit den drei verschiedenen Spiegeln im Vergleich zu den tatsächlichen Entfernungen.

Die Frage, ob es eine Interaktion zwischen der Erfahrung mit teilsphärischen Spiegeln (in den Analysen und Abbildungen als „Gruppe“ bezeichnet) und den Distanzschätzungen gibt, muss in zwei Schritten beantwortet werden. So wurde zwar die Wechselwirkung Spiegel \cdot Gruppe mit $F(4, 44) = 1.491$ nicht signifikant (s. hierzu Bild 6.5), im Vergleich zu den realen Distanzen ergaben sich jedoch in Abhängigkeit von den Erfahrungen unterschiedliche Distanzschätzungen (vgl. Bild 6.6, Bild 6.7, Bild 6.8).

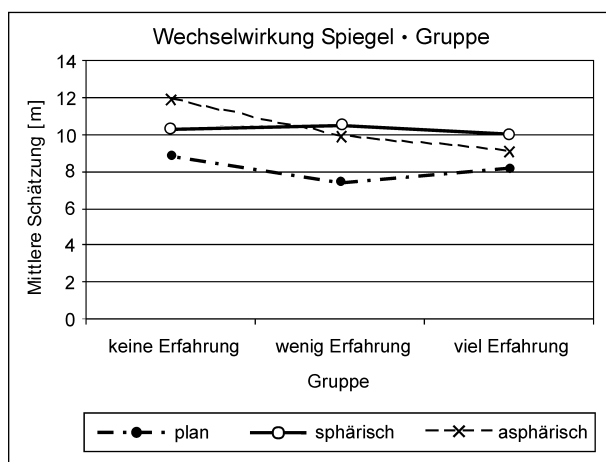


Bild 6.5: Mittlere Distanzschätzung (in Meter) in Abhängigkeit vom Spiegel und der Erfahrung mit teilsphärischen Spiegeln

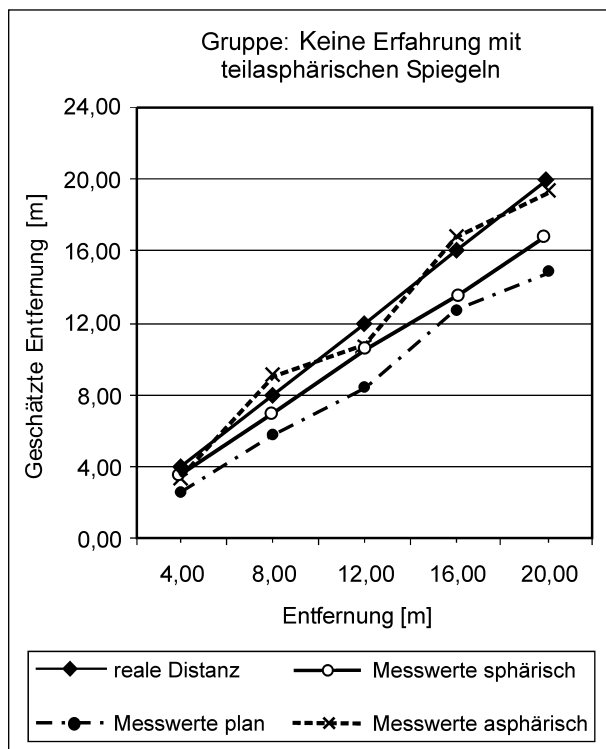


Bild 6.6: Vergleich der 3 Spiegel mit den realen Distanzen, wenn keine Erfahrungen mit teilsphärischen Spiegeln vorhanden sind

Dies wurde mit Hilfe linearer Regressionen überprüft, indem berechnet wurde, ob eine Steigung von „1“ im Konfidenzintervall von 95 % zu finden war. Sollte dies nicht der Fall sein, so kann von einer signifikanten Abweichung von den realen Distanzen ausgegangen werden. Im Rahmen dieser Berechnung ergab sich, dass die Entfernungen mit planen Spiegeln unabhängig von der Erfahrung mit teilsphärischen Spiegeln immer deutlich un-

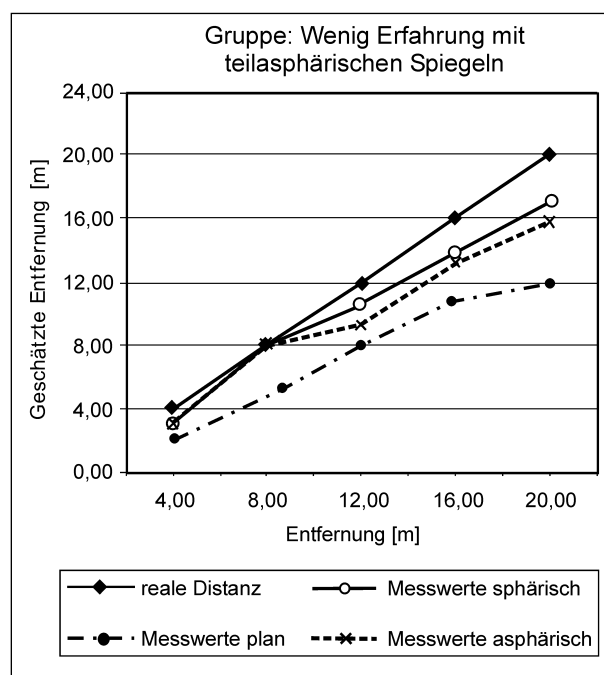


Bild 6.7: Vergleich der 3 Spiegel mit den realen Distanzen, wenn wenige Erfahrungen mit teilsphärischen Spiegeln vorhanden sind

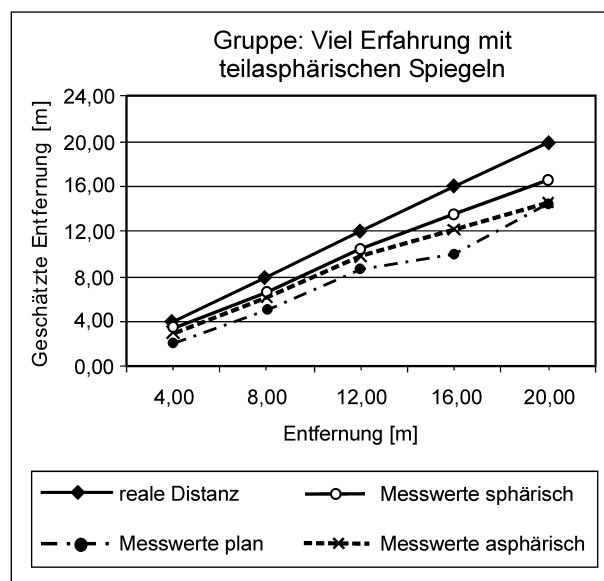


Bild 6.8: Vergleich der 3 Spiegel mit den realen Distanzen, wenn viele Erfahrungen mit teilsphärischen Spiegeln vorhanden sind

terschätzt werden (positiv für die Verkehrssicherheit). Mit sphärischen Spiegeln wurden die Distanzen nur dann signifikant unterschätzt, wenn die Versuchspersonen viele Erfahrungen mit teilsphärischen Spiegeln hatten. Mit teilsphärischen Spiegeln wurden die Distanzen dagegen immer dann signifikant unterschätzt, wenn viele oder wenige Erfahrungen mit teilsphärischen Spiegeln vorhanden waren, nicht jedoch, wenn die Versuchspersonen keine Erfahrungen mit solchen Spiegeln hatten. Dieser Sachverhalt zeigt sich auch recht deutlich in Bild 6.6 bis Bild 6.8.

Man erkennt dort, dass sich die Schätzungen mit dem teilsphärischen Spiegel mit zunehmender Erfahrung mit diesem Spiegel den Distanzschätzungen mit dem planen Außenspiegel annähern. Bei viel Erfahrungen mit teilsphärischen Spiegeln gibt es statistisch dann keinen Unterschied mehr zu den Schätzungen mit einem planen Spiegel ($F(1, 6) < 1$, nicht signifikant).

6.1.4 Diskussion

Dieses erste Experiment lieferte schon wichtige Hinweise in Bezug auf die Beantwortung der Frage nach den Verkehrssicherheitsaspekten teilsphärischer Außenspiegel. Bevor im weiteren Verlauf eine Einordnung der Befunde in die bestehende Literatur geschieht, sollen noch einmal kurz die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst werden.

- In diesem Versuch wurden die realen Distanzen äußerst selten überschätzt, es fanden sich fast ausschließlich Unterschätzungen. Im Vergleich zu den realen Distanzen wurde daher fast immer konservativer (also sicherer) geschätzt.
- Die Genauigkeit der Schätzungen mit sphärischen und teilsphärischen Spiegeln unterschied sich dabei nicht signifikant voneinander.
- Die Distanzschätzungen mit sphärischen und teilsphärischen Spiegeln unterschieden sich jedoch signifikant von denen mit planen Spiegeln. Die Unterschätzung der realen Distanzen war geringer, es lag somit im Vergleich zum planen Spiegel eine Überschätzung vor. Überschätzungen von Distanzen stellen ein Verkehrssicherheitsrisiko dar.
- Mit dem planen Spiegel sind die Schätzungen im Vergleich zu den tatsächlichen Entfernungen damit am schlechtesten, bei planen Spiegeln sind die Unterschätzungen am größten. Unter-

schätzungen von Distanzen stellen ein konservatives Verhalten im Straßenverkehr dar.

- Mit sphärischen Spiegeln gab es in diesem Experiment keinen signifikanten Unterschied zu den realen Distanzen. Die einzige Ausnahme waren Versuchspersonen, die viel Erfahrung mit teilsphärischen Spiegeln besaßen. Diese unterschätzten die tatsächlichen Distanzen signifikant.
- Mit teilsphärischen Spiegeln wurden die realen Distanzen signifikant unterschätzt. Hier waren Versuchspersonen ohne Erfahrung mit teilsphärischen Spiegeln die einzige Ausnahme. Mit anderen Worten: Wenn keine Erfahrungen bestehen, gibt es keinen Unterschied zu den realen Distanzen, was jedoch eine Überschätzung im Vergleich zu Schätzungen mit dem planen Spiegel bedeutet.
- Daher scheint in diesem Experiment zu gelten: Je mehr Erfahrungen man mit teilsphärischen Spiegeln hat, desto mehr weichen die Distanzschätzungen mit teilsphärischen Spiegeln von den realen Distanzen ab. Die Schätzungen nähern sich damit jedoch zunehmend den Schätzungen mit planen Spiegeln an.
- Unterschätzung in der Größenordnung wie sie in diesem Experiment gefunden wurden, werden auch in anderen Untersuchungen (ohne die Verwendung von Spiegeln) berichtet. Man kann daher davon ausgehen, dass die Versuchspersonen so geschätzt haben, wie sie auch ohne Spiegel schätzen würden. Aus diesem Grund ist auch verständlich, dass sich die Distanzschätzungen mit zunehmender Erfahrung mit teilsphärischen Spiegeln den Schätzungen mit planen Spiegeln und nicht der Realität angenähert haben.

Wenn man diese Befunde nun mit denen der publizierten Literatur vergleicht (vgl. hierzu Kapitel 5 „Stand der Forschung“), so decken sich die vorliegenden Ergebnisse mit diesen fast vollständig. So stützt der Befund, dass sich mit zunehmender Erfahrung die Schätzungen mit teilsphärischen Spiegeln denen mit planen annähern, die Literaturquellen, die einen Effekt der Übung und eine daraus resultierende bessere Schätzung beschreiben (z. B. BURGER, MULHOLLAND, SMITH & SHARKEY, 1980 [11]; BURGER, MULHOLLAND, SMITH, SHARKEY & BARDALES [12], 1980; FLANNAGAN et al., 1996 [39]). Interessant ist in diesem Zusam-

menhang noch der Befund von FLANNAGAN et al. (1996) [39], die in ihrer Studie, wie oben beschrieben, auch den Effekt des Trainings untersucht haben. Zu diesem Zweck haben die Autoren vor Beginn des Trainings einen Vortest gemacht, um die Leistung vor und nach der Übungseinheit miteinander vergleichen zu können. Es zeigte sich, dass die Schätzungen mit dem teilasphärischen Spiegel im Vergleich zu den tatsächlichen Entfernungen im Vortest höchst genau waren, sich nach der Trainingseinheit jedoch ein Übungseffekt einstellte und die Schätzungen dann etwas niedriger (in Richtung des planen Spiegels) wurden. Wenn man davon ausgeht, dass vor dieser Untersuchung keine Versuchsperson Erfahrungen mit teilasphärischen Spiegeln gesammelt hat, so kann man dieses Ergebnis sehr gut mit dem vorliegenden Befund in der Gruppe ohne Erfahrungen mit teilasphärischen Spiegeln vergleichen. In beiden Studien zeigte sich eine hervorragende, wenn auch überraschende, Übereinstimmung zwischen den Distanzschätzungen von, in Bezug auf teilasphärische Spiegel, unerfahrenen Versuchspersonen und den realen Distanzen. Mit zunehmender Übung wurden die realen Distanzen dann unterschätzt (ein konservatives Verhalten, daher für die Verkehrssicherheit positiv).

Es gibt jedoch einen bemerkenswerten Unterschied zu den Befunden von de VOS et al. (2001) [86] und de VOS (2000) [85]. In diesen Artikeln wird beschrieben, dass Fahrer, die Erfahrungen mit sphärischen Spiegeln haben, in der Lage waren, die Verzerrungen zu kompensieren, nicht jedoch die Fahrer, die teilasphärische Spiegel an ihrem eigenen Pkw besaßen. Hier zeigten also die mit sphärischen Spiegeln Erfahrenen einen Lerneffekt und nicht die mit teilasphärischen Spiegeln vertrauten Versuchspersonen. Im eigenen Experiment waren die mit teilasphärischen Spiegeln erfahrenen Versuchspersonen demgegenüber jedoch äußerst effektiv in ihrem Kompensationsverhalten. Sie näherten sich am besten den Schätzungen mit planen Spiegeln an.

In Bezug auf das Ergebnis, dass sich der sphärische und der teilasphärische Spiegel in ihren Auswirkungen nicht unterscheiden, besteht hingegen wieder eine Übereinstimmung mit der Literatur (z. B. LUOMA et al., 1995 [59]; de VOS, 2000 [85]). Auch die Tatsache, dass die Schätzungen mit planen Spiegeln im ersten Experiment die stärksten Unterschätzungen aufwiesen, ist ein in der Literatur bekanntes Phänomen (z. B. FLANNAGAN et al.,

1996 [39]; FLANNAGAN et al., 1998 [42]; FLANNAGAN, SIVAK, SCHUMANN et al., 1997 [43]) und steht nicht im Widerspruch zur bisherigen Forschung auf diesem Gebiet.

Auf der Grundlage dieser Befunde wird nun das zweite Experiment dargestellt, dass eine andere Untersuchungsmethode zur Überprüfung der Fragestellung einsetzt und eine größere Stichprobe umfasst. Dabei soll zunächst der spezifische theoretische Hintergrund dargelegt werden, der dem Versuchsdesign zugrunde liegt. Danach folgen die Beschreibungen des Experiments und seiner Ergebnisse sowie die daraus resultierenden Schlussfolgerungen.

6.2 Zweites Experiment

Das zweite Experiment wurde im Juni 2004 auf dem Gelände der Wehrtechnischen Dienststelle für Kraftfahrzeuge und Panzer (WTD 41 in Trier) durchgeführt. Das Gelände der WTD 41 war optimal geeignet, da für dieses Experiment eine abgelegene und ruhige Fahrbahn von mindestens 200 Metern Länge und 5 Metern Breite benötigt wurde.

Der Versuch wurde als Feldexperiment mit semidynamischem Design geplant und sollte der Frage nachgehen, ob Versuchspersonen die Distanz und Geschwindigkeit eines sich nähernden Fahrzeugs einschätzen können. Die Versuchspersonen saßen dabei in einem stehenden Fahrzeug und beobachteten im Außenspiegel (entweder plan, sphärisch oder teilasphärisch) ein näher kommendes Fahrzeug. An einem bestimmten Punkt wurde dann die Sicht nach hinten verdeckt und die Versuchspersonen mussten einschätzen, wann das näher kommende Fahrzeug mit ihrem Fahrzeug kollidieren würde.

Aus der Differenz zwischen vorhergesagter und tatsächlicher Ankunftszeit konnten dann Rückschlüsse über die Distanz- und Geschwindigkeitschätzungen mit den unterschiedlichen Spiegeln gezogen werden.

6.2.1 Empirische Grundlagen

Im zweiten Experiment sollten die Versuchspersonen durch einen Blick in den Spiegel einschätzen, wann sich ein Fahrzeug neben ihrem eigenen Fahrzeug befinden wird (für eine genaue Beschreibung der Versuchsdurchführung und des Versuchsaufbaus s. Kapitel 6.2.5). Ein experimentelles

Vorgehen, welches sich mit dem Zeitpunkt des Zusammentreffens zweier Fahrzeuge befasst, wird in der Literatur meistens als *time to collision* ($(t)t/c$, z. B. CAVALLO & LAURENT, 1988 [15]; CAVALLO, LAYA & LAURENT, 1986 [16]; FISHER & GALER, 1984 [31]; GRAY & THORNTON, 2001 [47]; HOFFMANN & MORTIMER, 1994 [53], MCLEOD & ROSS, 1983 [63]; SCHIFF & DETWILER, 1979 [74]), aber auch als *time to coincidence* (z. B. GROEGER & BROWN, 1988 [48]) oder etwas allgemeiner als *time to arrival* (z. B. CAIRD & HANCOCK, 1992 [13]; SCHIFF & OLDAK, 1990 [75]) bezeichnet. Die hierzu durchgeführten Untersuchungen verwendeten unterschiedliche Operationalisierungen zur Klärung ihrer jeweiligen Fragestellung. So umfassten die eingesetzten Methoden sowohl Simulationen am PC (CAIRD & HANCOCK, 1992 [13]) oder als Film im Labor (FISHER & GALER, 1984 [31]; HOFFMANN & MORTIMER, 1994 [53]; MCLEOD & ROSS, 1983 [63]; SCHIFF & DETWILER, 1979 [74]) als auch tatsächliche Fahrten in einem Fahrzeug (CAVALLO & LAURENT, 1988 [15]; CAVALLO et al., 1986 [16]).

6.2.2 Experimentelle Untersuchungen unter Berücksichtigung des Faktors „Spiegel“

Die meistens zu diesem Thema durchgeführten Studien haben sich nicht mit der Frage befasst, ob die Zeitschätzung auch von der Wahrnehmung durch verschiedene Spiegel beeinflusst wird. Hierzu sind fast keine Studien durchgeführt worden, eine Ausnahme bildet in diesem Zusammenhang die Untersuchung von FISHER & GALER [31] (1984). In dieser Studie mussten die Versuchspersonen sowohl den letzten als sicher beurteilten Moment für einen Spurwechsel („last perceived moment of safety“, LPMS) als auch den angenommenen Kollisionszeitpunkt (*perceived time of collision*“, $(p)t/c$) mit einem Knopfdruck anzeigen. Dieser Zeitpunkt $(p)t/c$ konnte dann in Bezug gesetzt werden zu dem tatsächlichen Kollisionszeitpunkt („true time of collision“, $(t)t/c$). Das Zielfahrzeug in diesem Experiment hatte eine Differenzgeschwindigkeit von entweder 15, 20 oder 30 Meilen pro Stunde und wurde von der Versuchsperson durch einen planen oder einen konvexen Spiegel (Krümmungsradius 1.950, 1.400 oder 600 mm) gesehen. Die Auswertung ergab, dass die wahrgenommene Zeit bis zur Kollision mit konvexen Spiegeln kürzer als die tatsächliche Zeit eingeschätzt wird. Eine Erklärung dieses Ergebnisses wird von den Autoren zwar nicht angeboten, der Befund lässt sich jedoch möglicherweise auf eine Über-

schätzung der Geschwindigkeit mit konvexen Spiegeln zurückführen. Dies würde einer eher konservativen Strategie entsprechen, die sich jedoch in den weiteren Befunden nicht bestätigen ließ. Die minimale Sicherheitsgrenze, die akzeptiert wurde, sank mit zunehmender Krümmung dramatisch (bei 600 mm Krümmungsradius war sie nur noch halb so groß im Vergleich zu einem planen Spiegel). Wie auch in der sonstigen Literatur beschrieben wurde, so konnten auch FISHER & GALER (1984) [31] eine Überschätzung der Distanzen mit konvexen Spiegeln bei ihren Versuchspersonen feststellen.

Die zuvor im Kapitel 5 „Stand der Forschung“ beschriebene Methode des „last safe gap“ ist der Aufgabe des „time to collision“ zwar sehr ähnlich und wurde bei FISHER & GALER (1984) [31] auch zusätzlich unter dem Begriff LPMS mit erhoben, sie lassen sich jedoch nicht direkt miteinander vergleichen. In den Experimenten zum „last safe gap“ kann zwar nachträglich auch errechnet werden, ob eine Kollision eingetreten wäre, und eine gewisse Anzahl an Durchgängen in den Experimenten hätte tatsächlich auch zu Zusammenstößen geführt, aber die Aufgabe bestand darin, diese zu vermeiden und ein sicheres Überholmanöver durchzuführen. Bei den in diesem Kapitel beschriebenen Versuchen zu „time to collision“ ist das Ziel demgegenüber, explizit die Zeit des Zusammentreffens so genau wie möglich zu schätzen. Ein direkter Vergleich der Kollisionen, die bei „last safe gap“ teilweise aufgetreten wären, mit den $(t)t/c$ -Werten der „Time to collision“-Studien ist daher nicht möglich. Während bei „last safe gap“ das Ergebnis so zusammengefasst werden kann, dass mit zunehmender Krümmung kleinere Lücken akzeptiert werden, so können zu „Time to collision“-Experimenten noch keine Vorhersagen gewagt werden, da die vorhandene Datenbasis unter der Berücksichtigung der Spiegelvariablen sehr gering ist. Daher wird mit dem zweiten Experiment versucht, aussagekräftige Daten zu erlangen. Es ist jedoch wichtig, zuvor auch die Befunde von Studien zu schildern, die die $(t)t/c$ -Variable bei direkter Sicht untersucht haben. Diese Ergebnisse müssen zu den im Rahmen des zweiten Experiments ermittelten Messwerten für plane, sphärische und teilasphärische Rückspiegel in Bezug gesetzt werden, damit eine eindeutige Beurteilung der Auswirkungen konvexer und insbesondere teilasphärischer Außenspiegel im Vergleich zu planen Spiegeln oder der direkten Sicht ermöglicht wird. Aus diesem Grund sollen im Folgenden einige dieser Ergebnisse berichtet werden.

6.2.3 Untersuchungen ohne Berücksichtigung des Faktors „Spiegel“

Ähnlich wie in der Literatur zu Distanzschätzungen mit planen Spiegeln und dem ersten Experiment des vorliegenden Berichts (in der Bedingung „planer Spiegel“) zeigte sich auch in den Studien, die die Zeitschätzung bis zur Kollision bei direkter Sicht untersucht haben, sehr konsistent der Befund einer Unterschätzung des tatsächlichen Kollisionszeitpunkts. Eine Unterschätzung des Kollisionszeitpunkts ist in Bezug auf die Verkehrssicherheit positiv zu bewerten. Die Schätzung des Kollisionszeitpunkts lag in diesen Studien fast immer bei ungefähr 60 % (z. B. MCLEOD & ROSS, 1983 [63]; SCHIFF & DETWILER, 1979) [74]) des tatsächlichen Wertes. Zu diesem Ergebnis kommen auch HOFFMANN & MORTIMER (1994) [53] in ihrem sehr guten Überblick über bisherige Studien. In ihrem eigenen Experiment ermittelten sie dagegen eine etwas geringere Unterschätzung (ungefähr 80 % des tatsächlichen Wertes). In den meisten Experimenten bewegte sich entweder das Fahrzeug der Versuchsperson und sie fuhren auf ein stehendes Objekt zu oder ein Fahrzeug bewegte sich auf den stehenden Pkw der Versuchsperson zu. Experimente, in denen sich beide (Objekte und Fahrzeug mit Versuchsperson) bewegen, sind eher selten durchgeführt worden (z. B. HOFFMANN & MORTIMER, 1994 [53]). Unabhängig davon, ob sich das Objekt oder die Versuchsperson bewegt haben, waren die Ergebnisse jedoch sehr ähnlich, obwohl die optischen Informationen dieser Bedingungen recht unterschiedlich waren. Auch wenn sich sowohl die Versuchsperson als auch ein anderes Fahrzeug bewegt haben, kam es zu einer Unterschätzung der Kontaktzeit (HOFFMANN & MORTIMER, 1994 [53]). Obwohl sich die Tendenz zur Unterschätzung bei längeren (t)t/c-Zeiten verstärkte (CAIRD & HANCOCK, 1992 [13]; SCHIFF & DETWILER, 1979 [74]; SCHIFF & OLDAK, 1990 [75]), so vergrößerte sich auch die Anzahl an Versuchspersonen, die die Kontaktzeit überschätzten (HOFFMANN & MORTIMER, 1994 [53], dies ist für die Verkehrssicherheit negativ) Dieser scheinbare Widerspruch ist mit einer schnell zunehmenden Standardabweichung der Zeitschätzungen zu erklären (vgl. hierzu HOFFMANN & MORTIMER, 1994 [53]). Bei einer Zeit bis zum Kontakt, die länger als 10 Sekunden war, zeigte sich in einem Experiment von SCHIFF & DETWILER (1979) [74] ein zunehmender Fehler in der Schätzung der Kontaktzeit. Die Autoren gehen daher davon aus, dass längere Zeitspannen eine genaue Schätzung des Kollisions-

zeitpunkts zunehmend erschweren und dass 10 Sekunden unter den realisierten Bedingungen eine Art Obergrenze für genaue Schätzungen darstellen könnten. Auch bei HOFFMANN & MORTIMER (1994) [53] zeigte sich bei Zeitspannen von mehr als 10 Sekunden eine zunehmende Unterschätzung der tatsächlichen (t)t/c. Dies ist auch ein Grund, warum im zweiten Experiment des vorliegenden Projekts keine Kontaktzeiten von mehr als 10,8 Sekunden realisiert werden. Bei dem Vorgehen wird davon ausgegangen, dass 10 Sekunden in Bezug auf Sicherheitsaspekte ausreichend sind. Längere Zeitintervalle sollten keine größere Gefahr mehr für die Sicherheit darstellen, da in solchen Fällen noch angemessene Reaktionszeiten verbleiben würden.

Die Beurteilung der Kontaktzeit wird jedoch von einer Reihe von Faktoren beeinflusst. So zeigten HOFFMANN & MORTIMER (1994) [53] auf, dass die Schätzung abhängig vom Abstand zwischen den Fahrzeugen ist (mit zunehmendem Abstand war eine Zunahme der Standardabweichung der Schätzung der (t)t/c zu beobachten) und auch die relative Geschwindigkeit der Fahrzeuge einen Einfluss auf die Beurteilung der Kontaktzeit hat. Ein Sinken der relativen Geschwindigkeit führte zu steigenden Standardabweichungen und die Schätzungen waren am schlechtesten, wenn die relative Geschwindigkeit unter der Reizschwelle lag. Die Blickzeit beeinflusste ebenfalls die Schätzung der Kontaktzeit, da bei längeren Blickzeiten die Leistung besser war (es wurden Blickzeiten zwischen 0.68 und 2.74 Sekunden untersucht). Demgegenüber konnten MCLEOD & ROSS (1983) [63] keine Verbesserung der Genauigkeit bei längeren Blickzeiten beobachten, sie untersuchten jedoch Zeitspannen zwischen 2 und 6 Sekunden. In der Studie von SCHIFF & DETWILER (1979) [74], die eine Blickzeit von 4 Sekunden realisierten, fand sich unabhängig von der Geschwindigkeit, Distanz oder Größe des Objekts keine Verbesserung der Schätzung der Kontaktzeit.

CAIRD & HANCOCK (1992) [13] verwendeten in ihrem Experiment eine Blickzeit von 3 Sekunden und auch in ihrem Versuch zeigte sich eine größere Variabilität der Schätzungen bei längeren Kontaktzeiten (bei einer insgesamt größeren Unterschätzung). Bei kürzeren Distanzen war die Beurteilung der (t)t/c in dieser Studie genauer als bei größeren Entfernungen und im Gegensatz zu dem oben beschriebenen Befund von SCHIFF & DETWILER (1979) [74] kam es zu zunehmenden Unterschätzungen bei größeren Fahrzeugen. Bei

einer Zeitspanne von einer Sekunde bis zum Kontakt kam es bei CAIRD & HANCOCK (1992) [13] zu Überschätzungen der $(t)/c$.

CAVALLO et al. (1986) [16] untersuchten ebenfalls Schätzungen der Kontaktzeit bei 3 Sekunden Blickzeit. Auch in diesem Experiment stieg die Unterschätzung mit zunehmender tatsächlicher $(t)/c$ an. Ein interessantes Ergebnis dieser Studie war, dass erfahrene Fahrer systematisch höhere (also bessere) Schätzungen als Anfänger abgaben. Ein größeres Sichtfeld führte zudem zu genaueren Schätzungen der Kontaktzeit. Dieser Befund zeigte sich auch in der Untersuchung von GROEGER & BROWN (1988) [48], die außerdem bei höheren Geschwindigkeiten größere Fehleinschätzungen beobachten konnten. Dieser Fehler wurde jedoch als absoluter Fehler berichtet, sodass unklar ist, ob eher Über- oder Unterschätzungen auftraten. Die Autoren untersuchten in diesem Experiment Blickzeiten zwischen 1 und 17 Sekunden und stellten fest, dass die Genauigkeit der Schätzung der Kontaktzeit besser wurde, je länger die Versuchspersonen das näher kommende Fahrzeug beobachten konnten. Die Zeit, die das Fahrzeug nicht sichtbar war, schien in dieser Studie dagegen keinen Einfluss auf die Einschätzung der Zeitspanne bis zum Kontakt zu haben.

HILLS (1980) [52] gibt in seinem Artikel einen guten allgemeinen Überblick über die Wahrnehmung und Sicht in Fahrzeugen und die Beurteilung von Distanzen und Geschwindigkeiten und er berichtet davon, dass die benötigte Zeit für einen Spurwechsel häufig falsch eingeschätzt wird, sodass Unfälle resultieren würden. Er führt dies darauf zurück, dass die Fahrer hauptsächlich die geschätzte Distanz des herannahenden Fahrzeugs als Informationsquelle nutzen und weniger seine Geschwindigkeit. Er weist auch darauf hin, dass aufgrund der kleinen Veränderungen in der Größe des visuellen Bildes eine Schätzung der Geschwindigkeit bei sich direkt (longitudinal) nähernden Fahrzeugen besonders schwer ist. Der Autor beschreibt weiterhin eine eigene Studie, die zeigen konnte, dass im Mittel hohe Geschwindigkeiten unterschätzt, niedrige dagegen überschätzt werden. Das Unterschätzen von Geschwindigkeiten ist in Bezug auf die Verkehrssicherheit negativ zu bewerten. Ältere Fahrer schätzen die Geschwindigkeiten im Durchschnitt niedriger ein als jüngere Versuchspersonen. HILLS (1980) [52] zitiert weitere Untersuchungen, die belegen, dass mit zunehmender Geschwindigkeit mehr Kollisionen auftreten. Er berichtet weiter,

dass Männer im Durchschnitt einen geringeren Sicherheitsspielraum als Frauen akzeptieren.

Insgesamt zeigte sich in vielen Untersuchungen (z. B. MCLEOD & ROSS, 1983 [63]; SCHIFF & OLDAK, 1990 [75], CAIRD & HANCOCK, 1992 [13]), dass Männer genauer als Frauen schätzten, wohingegen Frauen meistens konservativer und vorsichtiger in ihrem Risikoverhalten und ihren Entscheidungen waren.

Zusammenfassend konnte in diesem Kapitel dargelegt werden, dass der tatsächliche Kollisionszeitpunkt konsistent unterschätzt wird, was im Straßenverkehr ein unkritisches Verhalten darstellt. Wie die Darstellung der Studien jedoch auch gezeigt hat, existiert im Hinblick auf andere einflussnehmende Variablen, wie z. B. die Blick- oder Kontaktzeit, die Größe des Objekts, seine Entfernung oder Geschwindigkeit, keine einheitliche Befundlage. Dies ist unter anderem auf die sehr unterschiedliche Operationalisierung der jeweiligen Fragestellung zurückzuführen. Zur Planung des zweiten Experiments konnte daher nicht auf ein bestehendes und etabliertes Verfahren zurückgegriffen werden. Daher werden im Folgenden zunächst ausführlich der Versuchsaufbau und die Durchführung beschrieben, bevor die Ergebnisse dargestellt, interpretiert und in den Kontext der bestehenden Literatur eingeordnet werden.

6.2.4 Versuchsaufbau

Teilnehmer des Experiments

A priori wurde eine Planung des Stichprobenumfangs durchgeführt. Bei einem α -Niveau von 5 %, einer Teststärke $1 - \beta$ von 80 % und unter Annahme eines kleinen bis mittleren Effekts ($f = .15$) ergab sich eine Stichprobengröße von 11 Versuchspersonen für den relevanten Haupteffekt des Spiegels und von 20 Versuchspersonen für die Interaktion der drei Faktoren Spiegel • Geschwindigkeit • Distanz. Dementsprechend wurden 20 Versuchspersonen als minimale Stichprobengröße festgelegt. Insgesamt nahmen 30 Versuchspersonen an diesem Experiment teil. Voraussetzung für die Teilnahme an dem Experiment war der Besitz eines Pkw-Führerscheins. An diesem Experiment nahmen neben Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Wehrtechnischen Dienststelle für Kraftfahrzeuge und Panzer (WTD 41) auch 2 Studentinnen der Fachhochschule Trier sowie ein Mitarbeiter des Fachs Psychologie der Universität Trier teil. Die Teilnahme war freiwillig und die Versuchspersonen wurden

nicht entlohnt. Das Durchschnittsalter betrug 37,2 Jahre, die jüngste Person war 19 Jahre alt, die älteste 60 Jahre. 10 Versuchspersonen waren weiblich und 20 männlich. Falls Fehlsichtigkeiten auf Seiten der Teilnehmer vorhanden waren, so wurden diese wie im ersten Experiment durch geeignete Maßnahmen (Brille, Kontaktlinsen) korrigiert.

Methode

In Kapitel 6.2 wurde dargelegt, dass es zur Schätzung der Kontaktzeit zwar eine ausreichende Zahl an Untersuchungen gibt, diese Studien jedoch fast nie die Variable Außenspiegel in ihr experimentelles Vorgehen implementiert haben. In dem vorliegenden zweiten Experiment wurden die Versuchspersonen daher zu einer Schätzung der Kontaktzeit unter möglichst realistischen Bedingungen mit verschiedenen Außenspiegeln aufgefordert.

Damit die Schätzungen ausschließlich mit Hilfe des Außenspiegels geschahen, wurden sowohl der Innenspiegel als auch der rechte Außenspiegel während dieses Versuchs komplett abgeklebt. Die linken Außenspiegel wurden zudem so vorbereitet, dass sie während des Versuchs leicht ausgetauscht werden konnten. Wie im ersten Experiment wurde auch in diesem Experiment der teilasphärische Außenspiegel so abgeklebt, dass ausschließlich der asphärische Teil des Spiegels zur Beobachtung des sich nähernden Fahrzeugs verwendet werden konnte. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden auch die sphärischen und planen Spiegel so abgedeckt, dass nur eine genauso große Fläche wie beim teilasphärischen Spiegel genutzt werden konnte. Durch dieses Versuchsdesign wurden die unterschiedlichen Eigenschaften der Spiegel besonders hervorgehoben und es konnte sichergestellt werden, dass die Beurteilung des Kollisionszeitpunkts ausschließlich mit dem interessierenden Spiegelteil geschah. Die drei verschiedenen Spiegel-Bedingungen plan, sphärisch und asphärisch können also experimentell eindeutig voneinander getrennt werden und der plane Spiegel kann als Kontrollbedingung fungieren. Falls der teilasphärische Spiegel nicht abgeklebt worden wäre, hätte die Gefahr bestanden, dass Versuchspersonen den asphärischen Teil gar nicht zur Beurteilung verwendet hätten, sondern stattdessen nur in den sphärischen Teil des Spiegels geblickt hätten. Dann wären die Bedingungen „sphärisch“ und „asphärisch“ experimentell jedoch nicht mehr voneinander zu trennen gewesen. Durch das Abkleben wurde außerdem der „schlimmste Fall“ simuliert, dass nämlich der Spiegel derart falsch eingestellt

ist, dass nur der asphärische Teil zur Distanz- und Geschwindigkeitsschätzung verwendet werden kann.

Durch dieses Vorgehen wurde jedoch das zur Verfügung stehende Sichtfeld, insbesondere des planen Spiegels, relativ klein und das Versuchsdesign etwas weniger realitätsnah. Dies wurde auch von einigen Versuchspersonen angemerkt. Aus den oben genannten Gründen wurde jedoch in Kauf genommen, die interne Validität etwas zu Lasten der externen Validität zu erhöhen. Aus Sicherheitsgründen wurde auch kein Versuchsdesign gewählt, bei dem die Versuchspersonen selbst einen Pkw fahren. Die durch dieses Experiment realisierte Konstellation kann jedoch mit einer Situation verglichen werden, in der sich eine Person mit ihrem Fahrzeug aus einer Parklücke in den fließenden Verkehr eingliedern will.

Damit trotz des kleinen Sichtfeldes auch im planen Spiegel das sich nähernde Fahrzeug vollständig zu sehen war, musste das Fahrzeug der Versuchsperson etwas schräg versetzt und nicht parallel zur Fahrbahn stehen. Ohne diese Maßnahme hätte der plane Spiegel nicht von allen Versuchspersonen in ausreichender Weise eingestellt werden können.

Neben dem Faktor Spiegel mit den 3 Stufen plan, sphärisch und asphärisch wurden zwei weitere Einflussgrößen mit in die Untersuchung aufgenommen. Zum einen wurde der Abstand zwischen der Lichtschranke 2 und dem Fahrzeug der Versuchsperson variiert. Der Abstand betrug entweder 20, 30, 40, 50 oder 60 Meter. Zum anderen wurde die Geschwindigkeit des sich nähernden Fahrzeugs verändert. Das Fahrzeug fuhr entweder mit 20, 30 oder 40 km/h auf das stehende Fahrzeug der Versuchsperson zu. Es wurde daher ein dreifaktorieller ($3 \cdot 3 \cdot 5$) Versuchsplan mit kompletter Messwiederholung realisiert. Als abhängige Variable dienten die Schätzungen der Zeit bis zur Kollision, die mit den tatsächlichen Ankunftszeitpunkten verglichen werden konnten.

Um zu verhindern, dass die Versuchsperson akustische Informationen des herannahenden Fahrzeugs zur Schätzung der Ankunftszeit nutzen konnte, wurden zwei Strategien angewendet. Zum einen fuhr das Fahrzeug nicht tatsächlich bis zu dem Pkw der Versuchsperson und somit war eine vollständige Annäherung akustisch gar nicht wahrnehmbar, zum anderen wurden die Fenster und Türen des Versuchspersonen-Pkw geschlossen (soweit der Versuchsaufbau dies zuließ), sodass

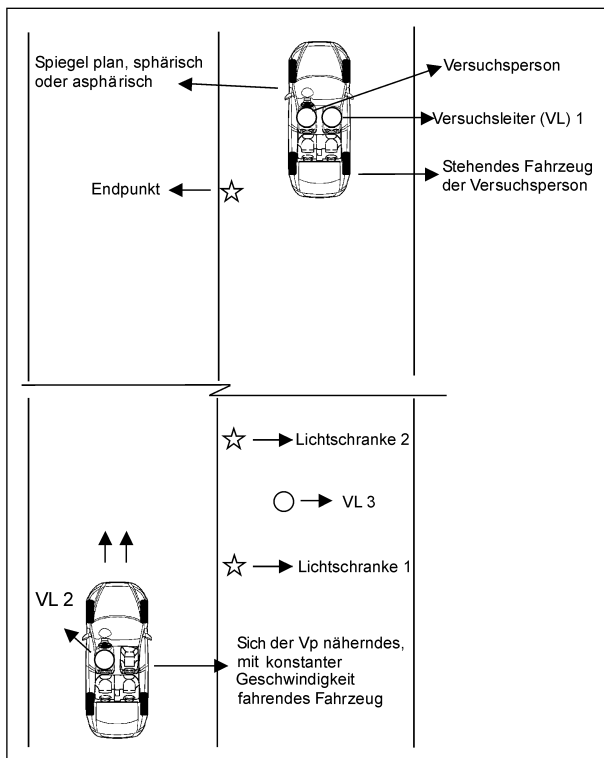


Bild 6.9: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

eventuell auftretende Geräusche nur schwach hörbar waren.

Als Orientierung wurden für die Versuchsleiter Markierungen auf die Straße gesprüht. Diese Markierungen kennzeichneten die jeweiligen Positionen der Lichtschranken und waren aus dem Fahrzeug der Versuchsperson nicht sichtbar. Zusätzlich wurden auch für den Versuchsleiter im herannahenden Versuchsfahrzeug Markierungen angebracht. Diese in regelmäßigen Abständen auf die Straße gesprühten Striche sollten Fahrbahnmarkierungen simulieren und dienten dazu, dass sich der Versuchsleiter an den Markierungen orientieren konnte. Somit wurde gewährleistet, dass der Versuchsleiter immer dicht genug an den Lichtschranken vorbeifuhr, sodass diese auch auslösten. Dieses Vorgehen war notwendig, da insbesondere bei starker Sonneneinstrahlung die Empfindlichkeit der Lichtschranken reduziert war, sodass das Versuchsfahrzeug sehr dicht an diese heranfahren musste, um sie auszulösen.

Vor Beginn des eigentlichen Experiments wurde den Versuchspersonen auch in diesem Experiment ein kurzer Fragebogen vorgegeben, sodass Informationen zu Alter, Geschlecht, (Vor-)Erfahrungen mit verschiedenen Spiegeln, zur Art des Spiegels am eigenen Fahrzeug und zum Fahrverhalten (jährliche Fahrleistung, Häufigkeit der Nutzung für Auto-

bahn-, Landstraßen- oder Stadtfahrten) der Teilnehmer vorliegen.

Kurz zusammengefasst wurden folgende Ereignisse angestrebt (s. hierzu Bild 6.9): Passiert das herannahende und auf eine konstante Geschwindigkeit gehaltene Fahrzeug (Fahrzeug 2) die erste Lichtschranke, so wird die Sicht der Versuchsperson auf den Außenspiegel freigegeben. Wird die zweite Lichtschranke passiert, so verdeckt sich die Sicht wieder. Durch Betätigung eines Druckknopfes am Lenkrad bzw. in der Hand der Versuchsperson wird dann die von der Versuchsperson geschätzte (p)t/c in einem EDV-System mit den zugehörigen versuchskennzeichnenden Informationen (Ist-Geschwindigkeit des Fahrzeugs, Abstand zwischen Lichtschranke 2 und dem Fahrzeug der Versuchsperson) zur späteren Auswertung gespeichert.

Materialien

Als zentrales Steuerungsgerät diente ein IBM-kompatibler Notebook-PC mit angeschlossenem universellem Messgerätesystem zur Verarbeitung digitaler Signale (Typ AnaDigIO der Firma Seng digitale Systeme GmbH, Göppingen). An dem digitalen Anschluss des Systems waren zwei Einweglichtschranken der Firma Sick (Typ W260, mit einem Erfassungsbereich von 0,01-5 m quer zur Fahrtrichtung), ein elektrischer Taster und ein elektropneumatisches 5-2-Wegeventil angeschlossen. Der PC war mit dem DV-Programm „Diadem“ der Firma National Instruments ausgestattet. An der Fahrertür des stehenden Fahrzeugs war ein Pneumatikzylinder angebracht, an dessen Kolbenstange eine Blende befestigt war, die die Sicht auf den Spiegel verdeckte.

Vor jedem Durchgang hat ein Versuchsleiter in einer erstellten Eingabemaske relevante Daten wie Versuchspersonnummer, Soll-Geschwindigkeit und Distanzen eingegeben und dadurch eine im DV-Programm erstellte Befehlsabfolge aktiviert. Passierte das zweite Fahrzeug die erste Lichtschranke, so wurde mit dem elektropneumatischen Ventil – gesteuert vom DV-Programm – der Pneumatikzylinder betätigt und die Sicht auf den Spiegel freigegeben, bei Aktivierung der zweiten Lichtschranke erfolgte wiederum die Verdeckung. Durch Betätigung des Tasters veranlasste das DV-Programm die Speicherung folgender Daten in einer Textdatei: Ist-Geschwindigkeit (errechnet aus Abstand und Fahrzeit zwischen den Lichtschranken), (p)t/c und die Eingabedaten. Danach stand das Programm für



Bild 6.10: Pneumatikzylinder mit Blende, befestigt am Versuchsfahrzeug



Bild 6.11: „Correvit“-Gerät am Heck des MCC Smart zur Geschwindigkeitsermittlung

den nachfolgenden Durchgang wieder zur Verfügung.

Hinter dem Versuchsfahrzeug befand sich ein Luftkompressor mit Behälter zur Versorgung des Pneumatikzylinders. Der hydrostatische Druck lag bei 8 bar und unterlag nur geringen Schwankungen. Die Zeit, die für die Auf- und Verdeckung des Spiegels durch den Zylinder resultierte, betrug ca. 0,3 s und war für alle Versuche gleich. Da bei der Auswertung Vergleiche angestellt wurden, kann dieser Aspekt vernachlässigt werden (s. Bild 6.10).

Als herannahendes Fahrzeug (Fahrzeug 2) diente ein MCC Smart mit „Correvit“ Geschwindigkeitsaufnehmer der Firma Datron Messtechnik (s. Bild 6.11) zur hinreichend präzisen Geschwindigkeitsbestimmung, da die Fahrzeugtachometer zu ungenau waren (hohe Ablesefehler und Anzeigefehler, Abweichungen bis zu ca. 10 % sind möglich). An der Frontscheibe war für den Fahrer dieses Wagens eine Flüssigkristallanzeige angebracht, an der die aktuelle Geschwindigkeit des Fahrzeugs in km/h mit einer Ablesegenauigkeit von 0,1 km/h ersichtlich war. Weiterhin soll angemerkt werden, dass aus der Messung ein Fehler von unter $\pm 0,1$ % vom Messwert resultierte. Dadurch konnte bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h (der höchsten Geschwindigkeit im Versuch) die Ungenauigkeit zwischen abgelesenem Wert und tatsächlichem Wert rund $\pm 0,1$ km/h betragen. Durch ständigen Sichtkontakt mit der Anzeige war es dem Fahrer möglich, die Geschwindigkeit ausreichend konstant zu halten.

Das Fahrzeug, in dem die Versuchsperson Platz nahm und das für die Dauer des Experiments zur Verfügung stand, war ein Ford Escort. An die Position des serienmäßigen fahrerseitigen Außenspiegels war ein komplettes Gehäuse eines Golf-III-Spiegels angebracht. Für diesen Fahrzeugtyp existieren – anders als bei Ford – die drei zu untersuchenden Spiegelarten plan, konvex und konvex/teilsphärisch. Es bestand für die Versuchspersonen die Möglichkeit, den Spiegel in gewohnter Weise vom Innenraum aus zu verstellen.

6.2.5 Durchführung

Jede Versuchsperson wurde individuell getestet, die Durchführungszeit betrug pro Person ungefähr $1\frac{1}{4}$ bis 2 Stunden (abhängig von der Anzahl an Versuchsleitern). Die Unterschiede in der Durchführungsdauer entstanden zum einen durch technische Probleme, die dazu führten, dass einzelne

Durchgänge wiederholt werden mussten, und zum anderen durch die Anzahl der zur Verfügung stehenden Versuchsleiter. Das Experiment wurde bei Tageslicht und gutem Wetter durchgeführt. Es herrschten ausgezeichnete Sichtverhältnisse. Da aus Voruntersuchungen deutlich wurde, dass sich Versuchspersonen an Umgebungsreizen orientieren, um die Entfernung besser einschätzen zu können, wurde sichergestellt, dass das Gelände keine auffälligen Hinweisreize bot.

Vor Beginn der 45 richtigen Durchgänge wurden mindestens 2 Probedurchgänge durchgeführt, um die Versuchspersonen mit dem Versuchsablauf bekannt zu machen. Durch dieses Vorgehen konnte auch gewährleistet werden, dass eventuelle Missverständnisse bezüglich der an die Versuchspersonen gestellten Aufgabe vor Beginn der Datenerhebung geklärt wurden.

Es standen drei bis vier Versuchsleiter zur Verfügung. Ein Versuchsleiter saß neben der Versuchsperson im stehenden Fahrzeug, gab die Instruktionen, bediente den Laptop und tauschte zwischen den betreffenden Durchgängen die Spiegel aus. Nachdem die relevanten Informationen über den Durchgang vom ersten Versuchsleiter in den PC eingegeben wurden, startete der Durchgang. Der zweite Versuchsleiter fuhr das sich nähernde Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit und seitlich links ca. 2 Meter versetzt neben dem Fahrzeug der Versuchsperson (vergleichbar der Situation zweier Fahrzeuge auf zwei Spuren auf einer Autobahn oder der oben beschriebenen Situation eines parkenden Pkw bei der Eingliederung in den fließenden (Stadt-)Verkehr).

Wenn das Fahrzeug an der ersten Lichtschranke vorbeifuhr, wurde der bis zu diesem Zeitpunkt abgedeckte linke Außenspiegel wie oben beschrieben mit Hilfe des Pneumatikzylinders aufgedeckt. Wenn das Fahrzeug die zweite Lichtschranke passiert hatte, wurde der Spiegel über die gleiche Vorrichtung wieder verdeckt. Die Distanz zwischen der ersten und der zweiten Lichtschranke war jeweils so gewählt, dass das Fahrzeug immer zwei Sekunden zwischen den Lichtschranken verbrachte. Je schneller also das Fahrzeug fuhr, desto größer war der Abstand der beiden Lichtschranken zueinander. Dadurch wurde gewährleistet, dass die Versuchspersonen unabhängig von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs immer ungefähr die gleiche Blickzeit von zwei Sekunden für die Schätzung des Kollisionszeitpunkts hatten. Da die Geschwindigkeit des Fahrzeugs nicht vollständig konstant ge-

halten werden konnte, war die Blickzeit nicht immer genau zwei Sekunden, eine durchschnittliche Zeitspanne von zwei Sekunden wurde jedoch angestrebt. Die hier zu erwartende Streuung wurde als vernachlässigbar angesehen und spielte inhaltlich keine Rolle, da sich die leicht unterschiedlichen Blickzeiten gleichmäßig über alle Bedingungskombinationen verteilen sollten. Die Analysen zeigten jedoch, dass die Versuchsleiter äußerst gewissenhaft und genau bei der Konstanthaltung der Geschwindigkeit waren (im Mittel fuhr das Versuchsfahrzeug 20,73 anstatt 20 km/h, 30,25 anstatt 30 km/h und 39,94 anstatt 40 km/h, diese Mittelwerte wurden in der Auswertung für die Bestimmung der tatsächlichen Ankunftszeit verwendet). Durch das gewählte Vorgehen wurde weiterhin die Distanz zum Pkw der Versuchsperson zum Zeitpunkt des Verschwindens eindeutig festgelegt, da dieser Punkt durch die zweite Lichtschranke definiert war. Damit konnte eindeutig der tatsächliche Kollisionszeitpunkt bestimmt werden. Wäre demgegenüber die Blickzeit konstant bei zwei Sekunden gehalten worden, so wäre die Distanz zum Fahrzeug der Versuchsperson zum Zeitpunkt der Abdeckung des Spiegels nicht eindeutig zu bestimmen gewesen. Somit wäre eine eindeutige Bestimmung des tatsächlichen Kollisionszeitpunkts nicht mehr möglich gewesen, was insbesondere bei kurzen $(t)/c$ die Ergebnisse deutlich hätte verzerren können. Da die Zeit zwischen den Lichtschranken erfasst wurde und der Abstand der Lichtschranken zueinander ebenfalls bekannt war, konnte die tatsächliche Geschwindigkeit des Fahrzeugs exakt ermittelt werden. Somit konnten die beiden unabhängigen Variablen „Distanz“ und „Geschwindigkeit“ exakt gemessen werden. Mit diesem Verfahren wurde lediglich in Kauf genommen, dass die Einflussgröße „Blickzeit“ unwesentlich variierte. Grundsätzlich erschien eine Blickzeit von zwei Sekunden angemessen und ausreichend, da sie vergleichbar war mit einem normalen Blick in einen Außenspiegel.

Die Versuchsperson sollte nun auf der Grundlage der im Spiegel eingeschätzten Distanz und Geschwindigkeit des sich nähernden Fahrzeugs eine Vorhersage über den Zeitpunkt abgeben, wann dieses Fahrzeug ihr eigenes Fahrzeug erreichen würde (den so genannten Endpunkt). Die Versuchsperson musste dabei die Position des Fahrzeugs aktualisieren, ohne es im Spiegel sehen zu können. Wenn sie der Ansicht war, das Fahrzeug wäre an ihrer eigenen Position angelangt, sollte sie den Druckknopf betätigen. Damit wurden sowohl der Startpunkt (beim Überfahren der zweiten Licht-

schranke) als auch der Endpunkt (durch den Knopfdruck) auf dem Computer aufgezeichnet und der tatsächliche und der geschätzte Kollisionszeitpunkt konnten berechnet werden, da sowohl die Distanz als auch die konstante Geschwindigkeit bekannt waren. Um die Einschätzung des Kollisionszeitpunkts nicht zu beeinflussen, ist der zweite Versuchsleiter mit seinem Fahrzeug nicht tatsächlich am Pkw der Versuchsperson vorbeigefahren, er bremste stattdessen vorher ab, wendete das Fahrzeug und fuhr zum Ausgangspunkt zurück. Als Reaktion der Versuchsperson wurde ein Knopfdruck am Lenkrad bzw. in der Hand (da es den Versuchspersonen teilweise lieber war, den Druckknopf in der Hand zu halten) gewählt, da dieses Verhalten weniger fehleranfällig erschien. Ein simuliertes Bremsmanöver wäre technisch ebenfalls zu realisieren gewesen, das Benutzen des Bremspedals als Signal ist jedoch mit mehreren ungeklärten Fragen und Problemen behaftet. So ist ein versehentliches Auslösen des Bremspedals nicht auszuschließen und es ließ sich die Frage nicht klären, wie hoch der Pedaldruck sein sollte, der ein Signal auslösen würde. Wird dieser zu gering eingestellt, so wären häufig fälschliche Reaktionen zu erwarten gewesen, während auf der anderen Seite möglicherweise Reaktionen ausbleiben würden. Zu diesem Problem kämen noch unkalkulierbare Einflüsse auf die Reaktionszeit hinzu, da die geforderte Bewegung des Fußes zum Bremspedal interindividuell eine größere Varianz (z. B. durch Alterseffekte) aufweisen sollte als ein Tastendruck mit der Hand. Daher wurde in diesem Versuch einem Knopf am Lenkrad der Vorzug gegeben.

Da zwischen den Durchgängen für jede Geschwindigkeit ein anderer Abstand zwischen den beiden Lichtschranken auf dem Boden realisiert werden musste und auch die unterschiedlichen Distanzen eine Veränderung der Position der Lichtschranken erforderten, versetzte der dritte Versuchsleiter (und gegebenenfalls der vierte Versuchsleiter) diese entsprechend.

Jede Versuchsperson durchlief in diesem Experiment alle 45 Bedingungskombinationen. Die Reihenfolge der Bedingungen wurde dabei randomisiert und war somit für die Versuchsperson nicht vorhersagbar. Die Reihenfolge der Bedingungskombinationen wurde ebenfalls zwischen den Versuchspersonen variiert, sodass Sequenzeffekte ausgeschlossen werden können. Die Variation der Reihenfolge der Bedingungskombinationen war jedoch nicht vollständig zufällig. Es wurde immer so

randomisiert, dass jeweils 15 Durchgänge mit dem gleichen Spiegel durchgeführt wurden. Durch dieses Vorgehen wurde die Versuchsdauer verkürzt, da nicht nach jedem Durchgang der Spiegel gewechselt und neu eingestellt werden musste. Beim Wechsel des Spiegels musste die Versuchsperson den Spiegel so einstellen, dass das näher kommende Fahrzeug (der MCC Smart) in einer Entfernung von 30 Metern deutlich im Spiegel zu erken-



Bild 6.12: Sicht in den planen Spiegel



Bild 6.13: Sicht in den sphärisch konvexen Spiegel



Bild 6.14: Sicht in den teilsphärischen Spiegel

nen war. Der Versuchsperson wurden während der Durchführung des Experiments keine Informationen über ihre Leistung oder die gerade verwendeten Spiegeltypen gegeben.

Versuchsleitereffekte konnten dadurch reduziert werden, dass die Instruktionen schriftlich vorgelegt wurden, die Datenerfassung elektronisch erfolgte und die Versuchsleiter zwischen den Versuchspersonen ihre Aufgaben tauschten.

6.2.6 Ergebnisse

Aufgrund fehlender Werte bei einigen Versuchspersonen sank die Zahl der in die Varianzanalyse eingehenden Versuchspersonen auf 20. Eine $3 \cdot 3 \cdot 5$ Varianzanalyse mit kompletter Messwiederholung ergab keinen signifikanten Effekt des Spiegeltyps ($F(2, 38) = 2.125, p = .133$). Erwartungsgemäß, jedoch hypothesenirrelevant, wurden sowohl die Faktoren Distanz ($F(4, 76) = 9.040, p < .001$) und Geschwindigkeit ($F(2, 38) = 38.237, p < .001$) signifikant. Da der MAUCHLY-Test auf eine Verletzung der Sphärizität beim Faktor Distanz hinwies, wurden die Korrekturen von GREENHOUSE-GEISSER und HUYNH-FELDT angewendet. Das hochsignifikante Ergebnis blieb jedoch erhalten. Es wurden keine Interaktionen signifikant.

Weitere Analysen zeigten, dass in den Daten einige Ausreißer-Werte (Mittelwert ± 3 Standardabweichungen) vorhanden waren. Wenn diese Werte eliminiert werden, so gehen nur noch 14 Versuchspersonen in eine varianzanalytische Auswertung ein. Um trotzdem eine angemessene Stichprobengröße zu erhalten, wurden die fehlenden Werte durch die jeweiligen Mittelwerte ersetzt. Mit diesem Datensatz wurde eine weitere Varianzanalyse berechnet, in die die Werte aller 30 Versuchspersonen eingingen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, da das Statistik-Programm SPSS die Daten einer Versuchsperson vollständig aus der Varianzanalyse ausschließt, sobald ein Wert der Person fehlt. Insgesamt fehlten 34 Werte (2,5 % des Gesamtdatenbestands), die entweder aus versuchstechnischen Gründen nicht erfasst oder als Ausreißer eliminiert wurden. Diese 34 Werte verteilten sich auf 16 Versuchspersonen, sodass in der Varianzanalyse $16 \cdot 45 = 720$ von $30 \cdot 45 = 1.350$ Werten verloren gegangen wären.

Die Varianzanalyse mit den Daten von 30 Versuchspersonen ergab, neben den weiterhin hochsignifikanten Effekten von Distanz und Geschwindigkeit, das erwartete Ergebnis eines signifikanten

Effekts des Spiegeltyps ($F(2, 58) = 3.469, p = .038$). Mit Hilfe von Post-hoc-Tests zeigte sich, dass das signifikante Ergebnis des Faktors Spiegeltyp auf den Unterschied zwischen planem und sphärischem Spiegel zurückgeführt werden kann ($F(1, 29) = 7,987, p = .008$). Es gab jedoch weder einen Unterschied zwischen planem und asphärischem Spiegel ($F(1, 29) = 1.768, n. s.$), noch zwischen sphärischem und asphärischem Spiegel ($F(1, 29) = 1.466, n. s.$). Da vor Beginn des Experiments ein Fragebogen ausgefüllt wurde, standen Informationen zur Erfahrung mit den unterschiedlichen Spiegeln zur Verfügung. 7 Personen hatten Erfahrungen mit planen Spiegeln, 13 Personen mit sphärischen Spiegeln, 9 Versuchspersonen mit asphärischen Spiegeln und eine Versuchsperson hatte zu dieser Frage keine Angaben gemacht. Der Faktor Erfahrung wurde daher unterteilt in 1. Erfahrung mit planen Spiegeln, 2. Erfahrung mit sphärischen Spiegeln und 3. Erfahrung mit asphärischen Spiegeln. Dieser Faktor wurde ebenfalls in die Varianzanalyse aufgenommen, um zu untersuchen, ob sich die Schätzung des Kollisionszeitpunkts in Abhängigkeit von der Erfahrung mit den einzelnen Spiegeln ändert. Der für diese Fragestellung relevante Effekt Spiegel \cdot Erfahrung wurde jedoch mit $F(4, 52) < 1$ nicht signifikant. Die Einschätzung der Kontaktzeit ist daher unabhängig von der Erfahrung mit den jeweiligen Spiegeln.

Neben der varianzanalytischen Auswertung wurden zusätzlich lineare und nicht-lineare Regressio-

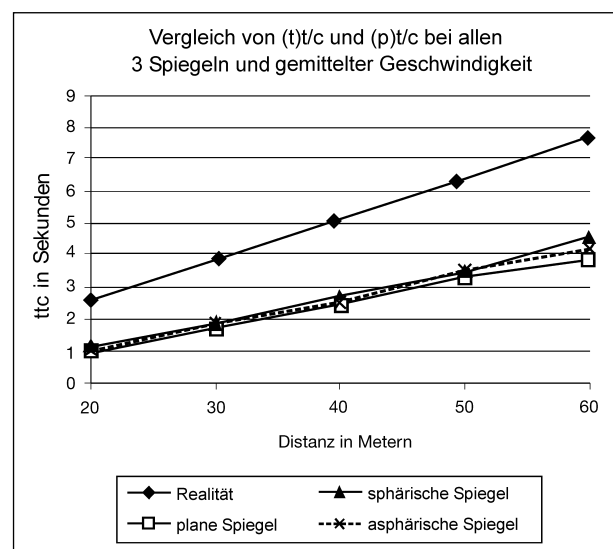


Bild 6.15: Vergleich der – mittels der drei Spiegel (plan, sphärisch, asphärisch) – geschätzten Kontaktzeiten und den tatsächlichen Kontaktzeiten. Bei dieser Abbildung wurde über die drei Geschwindigkeiten (20, 30, 40 km/h) gemittelt und die Ausreißer wurden aus dem Datensatz entfernt

nen berechnet, um weitere Informationen zu erhalten. Auch in diesen Analysen wurden, wie oben beschrieben, fehlende Werte und Ausreißer durch die jeweiligen Mittelwerte ersetzt. Durch dieses Vorgehen änderten sich die berechneten Parameter geringfügig gegenüber Analysen, in denen fehlende Werte und Ausreißer belassen wurden bzw. die Ausreißer entfernt, aber nicht durch Mittelwerte ersetzt wurden. Die Richtung des Zusammenhangs und die Relationen der Spiegel zueinander blieben von dieser Optimierung der Datenbasis jedoch unberührt. Aus diesem Grund werden im weiteren Verlauf nur noch die Ergebnisse der Analysen mit

den 34 durch die jeweiligen Mittelwerte ersetzten Werten berichtet.

Um ein Maß für die Unter- bzw. Überschätzung der tatsächlichen Kontaktzeit zu erhalten, wurde eine nicht-lineare Regression der Form $\frac{\alpha \cdot \text{Distanz}}{\text{Geschwindigkeit}}$

berechnet. Diese Formel wird zur Berechnung des tatsächlichen Ankunftszeitpunkts (t/c) verwendet, der Parameter a hat dann einen Wert von 3.6. Beim planen Spiegel ergaben die Analysen einen Parameter $a = 1.74$. Im Vergleich zu dem Wert von 3.6 entspricht dies jedoch einer starken Unterschätzung von 51,67 %. Die Einschätzung der (t/c) mit dem sphärischen Spiegel ist etwas besser ($a = 1.956$), dies entspricht 54,33 % des tatsächlichen Werts (45,67 % Unterschätzung). Im Vergleich zum planen Spiegel ist dies jedoch wiederum gleichbedeutend mit einer Überschätzung der Ankunftszeit. Überschätzungen der Ankunftszeiten stellen im Straßenverkehr ein verkehrsgefährdendes Verhalten dar. Die Einschätzungen mit dem asphärischen Spiegel sind wiederum etwas konservativer als mit dem sphärischen Außenspiegel und liegen mit $a = 1.8628$ (51,74 % des tatsächlichen Werts bzw. 48,26 % Unterschätzung) wieder näher an den Schätzungen mit planen Spiegeln. Die Unterschätzung der tatsächlichen Kollisionszeitpunkte wird durch Bild 6.15 bis Bild 6.19 sehr gut veranschaulicht.

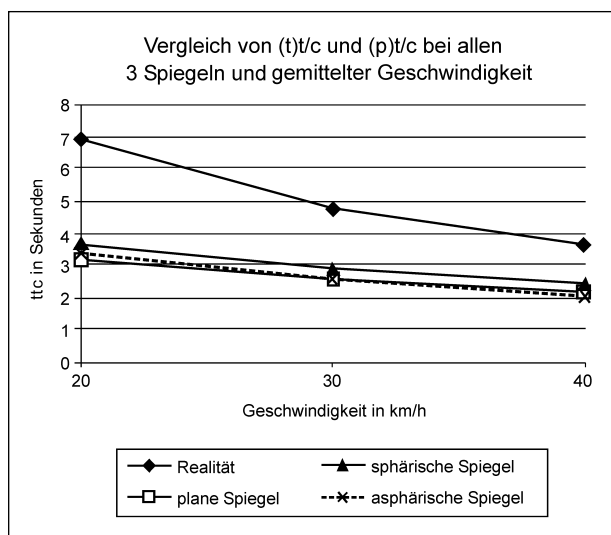


Bild 6.16: Vergleich der – mittels der drei Spiegel (plan, sphärisch, asphärisch) – geschätzten Kontaktzeiten und den tatsächlichen Kontaktzeiten. Bei dieser Abbildung wurde über die fünf Entfernungen (20, 30, 40, 50, 60 Meter) gemittelt und die Ausreißer wurden aus dem Datensatz entfernt

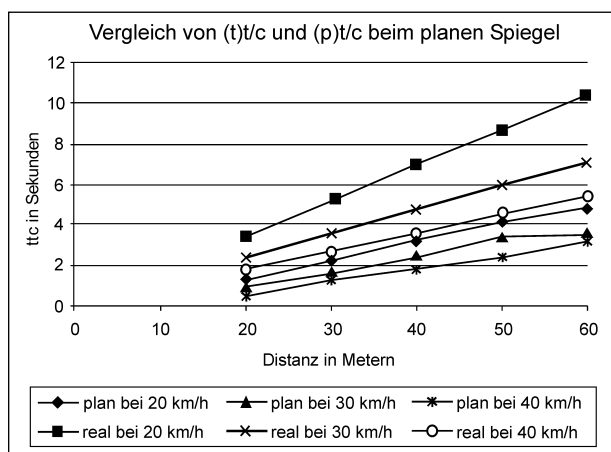


Bild 6.17: Vergleich der mittels des planen Spiegels geschätzten Kontaktzeiten mit den tatsächlichen Kontaktzeiten. Bei dieser Abbildung wurden die Ausreißer aus dem Datensatz entfernt

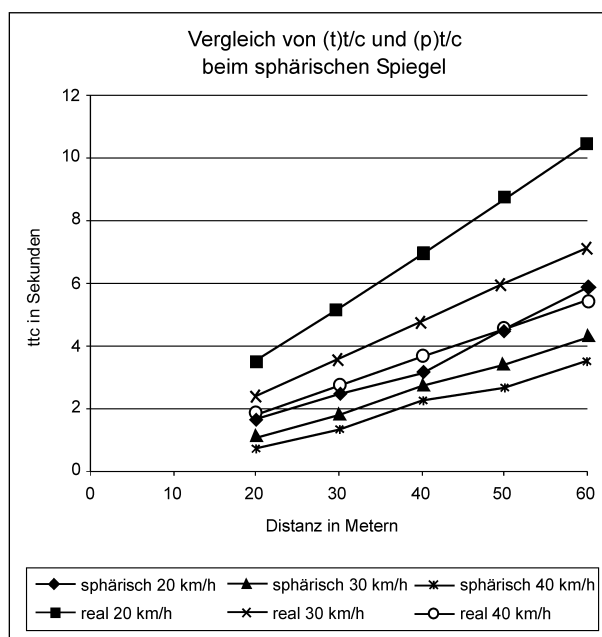


Bild 6.18: Vergleich der mittels des sphärischen Spiegels geschätzten Kontaktzeiten mit den tatsächlichen Kontaktzeiten. Bei dieser Abbildung wurden die Ausreißer aus dem Datensatz entfernt

Des Weiteren wurde überprüft, ob eine bessere Anpassung an die Daten erreicht werden kann, indem eine zusätzliche additive Konstante b in die Gleichung mit aufgenommen wird. Die additive Konstante zeigte jedoch eine beträchtliche Korrelation ($r = -.91$) mit dem Parameter a , sodass aus Gründen der Sparsamkeit ein Modell mit nur einem Parameter (a) vorgezogen wurde.

Zusätzlich können die Konfidenzintervalle betrachtet werden, um Aufschluss darüber zu erhalten, ob und inwiefern sich die drei verschiedenen Spiegeltypen voneinander unterscheiden.

Der Parameter a des sphärischen Spiegels lag nicht mehr im Konfidenzintervall von 95 % des planen Spiegels (1.65745-1.82519), sodass von einem signifikanten Unterschied dieser Spiegel ausgegangen werden kann. Der Parameter a des sphärischen Spiegels lag ebenfalls außerhalb des 95%-Konfidenzintervalls des asphärischen Spiegels (1.7756-1.9499). Auch der Parameter des asphärischen Spiegels befindet sich außerhalb des Konfidenzintervalls von 95 % des planen Spiegels (1.6745-1.82519). Betrachtet man also die Konfidenzintervalle, so unterscheiden sich die Parameter der drei Spiegel signifikant voneinander. Dies liegt teilweise im Widerspruch zu den Ergebnissen der Varianzanalyse, da dort nur der Unterschied zwischen dem planen und dem sphärischen Spiegel signifikant wurde. Es bleibt jedoch deutlich erkennbar, dass mit dem planen Spiegel die stärksten Unterschätzungen produziert werden, die Ge-

naugigkeit der Schätzungen mit dem asphärischen Spiegel im mittleren Bereich zwischen den beiden anderen Spiegeln liegt und mit dem sphärischen Spiegel die (im Vergleich zur Realität) genauesten Schätzungen abgeliefert werden. Dies entspricht jedoch, wie schon gesagt, einer Überschätzung im Verhältnis zum planen Spiegel. Insgesamt muss man jedoch betonen, dass die Versuchspersonen extrem konservativ in ihrem Schätzverhalten waren, also sehr stark unterschätzt haben. Während in der Literatur bei direkter Sicht Werte zwischen 20-40 % Unterschätzung zu finden waren, so sind in dieser Untersuchung die Werte im Durchschnitt fast um 50 % unterschätzt worden.

Der Vorteil der Eliminierung der Ausreißer und des Ersetzens der fehlenden Werte durch ihre Mittelwerte zeigt sich deutlich, wenn man sich die durch die Regression erklärte Varianz ansieht: Beim planen Spiegel steigt das Bestimmtheitsmaß von $R^2 = .13527$ auf $R^2 = .40732$, beim sphärischen Spiegel von $R^2 = .15157$ auf $R^2 = .42170$. Der Unterschied beim asphärischen Spiegel ist demgegenüber eher gering: von $R^2 = .39267$ auf $R^2 = .42488$.

Obwohl diese nichtlineare Regression der Form $\frac{\alpha \cdot \text{Distanz}}{\text{Geschwindigkeit}}$ eine recht gute Anpassung an die

Schätzungen der $(p)t/c$ der Versuchspersonen ermöglichte und zur Berechnung der $(t)t/c$ $a = 3.6$ gilt, wurden trotzdem zusätzlich eine nicht-lineare Funktion in Form einer psychophysischen Funktion $(p)t/c = k \cdot (t)t/c^n$ sowie eine lineare Regression berechnet.

Die erklärte Varianz der Regression durch die psychophysische Funktion war nahezu genauso groß wie bei der zuvor berechneten linearen Funktion: planer Spiegel $R^2 = .40732$, sphärische Spiegel $R^2 = .42234$ und asphärische Spiegel $R^2 = .42457$.

Mit der Berechnung der linearen Regression kann festgestellt werden, ob eine lineare Funktion eine ähnlich gute Erklärung der vorliegenden Daten bietet und welchen Beitrag die beiden Variablen Distanz und Geschwindigkeit zur Schätzung der $(t)t/c$ liefern. Bei diesen Analysen zeigte sich, dass ein großer Teil der durch die Regression vorhergesagten Varianz auf den Faktor Distanz zurückzuführen ist, während der Faktor Geschwindigkeit vergleichsweise wenig zur Varianzaufklärung beiträgt. Dieser Befund war spiegelunabhängig zu beobachten. Eine schrittweise Selektion der Variablen für die Regression zeigte jedoch, dass eine lineare Funktion unter Einbeziehung beider Variablen (so-

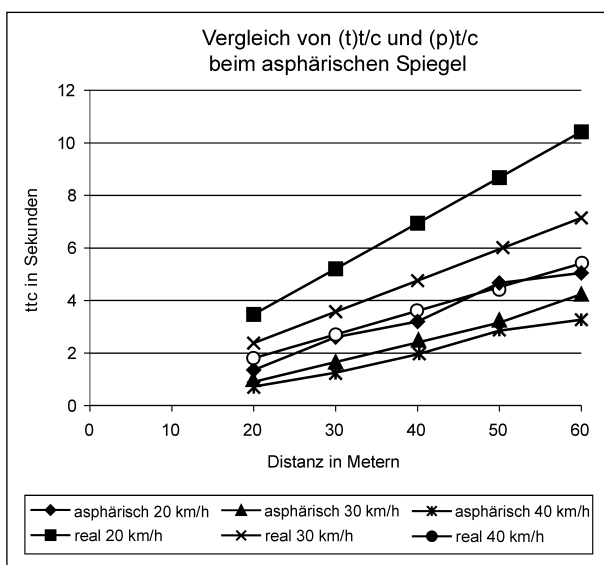


Bild 6.19: Vergleich der mittels des teilasphärischen Spiegels geschätzten Kontaktzeiten mit den tatsächlichen Kontaktzeiten. Bei dieser Abbildung wurden die Ausreißer aus dem Datensatz entfernt

wohl Distanz als auch Geschwindigkeit) die beste Anpassung erbrachte. Dies galt ebenfalls für alle drei Spiegel.

Um zwischen einer linearen und einer nicht-linearen Funktion zur Erklärung der Daten entscheiden zu können, muss man den Anteil der durch die Funktion erklärten Varianz, relativiert an der Gesamtvarianz, betrachten (R^2).

Das R^2 war nun beim planen Spiegel mit .416 bei der linearen Funktion etwas höher als bei den entsprechenden nicht-linearen Funktionen ($R^2 = .40732$). Beim sphärischen Außenspiegel zeigte die lineare Funktion ebenfalls eine bessere Vorhersage als die nicht-linearen Funktionen: $R^2 = .429$ vs. $R^2 = .422$. Derselbe Befund ergab sich auch beim asphärischen Spiegel, da die oben beschriebenen nicht-linearen Funktionen ein R^2 von .425 aufwiesen, während die lineare Funktion mit den beiden Variablen Distanz und Geschwindigkeit ein R^2 von .436 hatte. Man kann also insgesamt davon ausgehen, dass sich die (p)t/c bei den vorliegenden Daten besser durch eine lineare Funktion von Distanz und Geschwindigkeit darstellen lässt als durch die weiter oben beschriebenen nicht-linearen Funktionen, die zum einen psychophysische Zusammenhänge beschreiben und zum anderen die wahre Berechnung des Ankunftszeitpunkts ermöglichen.

Zusammengefasst lässt sich daher sagen, dass die tatsächliche Ankunftszeit mit allen Spiegeln stark unterschätzt wird, was einem konservativen Verhalten entspricht. Nimmt man den planen Spiegel als Referenz, so wird mit dem sphärischen Spiegel die Ankunftszeit überschätzt, während die Schätzungen mit dem asphärischen Spiegel trotz stärkerer Krümmung näher an den Schätzungen mit dem planen Spiegel liegen. Der Unterschied von planem und asphärischem Spiegel ist grenzwertig, ein eindeutiger Befund kann hier nicht mit letzter Sicherheit gestellt werden. Da die Ergebnisse der Varianzanalyse keinen signifikanten Unterschied aufwiesen, die nicht-lineare Regression jedoch einen signifikanten Unterschied zwischen den Parametern der beiden Spiegeln entdeckt hat, könnte ein Unterschied zwischen planem und asphärischen Spiegeln bestehen. Falls sich der plane und der asphärische Spiegel unterscheiden, so ist der Unterschied jedoch geringer als der zwischen planem und sphärischem Spiegel. Ein Unterschied zwischen sphärischen und asphärischen Spiegeln ließ sich varianzanalytisch ebenfalls nicht zeigen, bei

den nicht-linearen Regressionen unterschieden sich diese Spiegel jedoch.

Insgesamt bedeutet dies, dass der asphärische Spiegel eine mittlere Position zwischen dem planen und dem sphärischen Spiegel einnimmt, daher also keinesfalls schlechter als diese beiden etablierten Spiegel abschneidet.

6.2.7 Diskussion

Mit Hilfe des zweiten Experiments konnten weitere Hinweise zur Beantwortung der Frage nach den Verkehrssicherheitsaspekten teilasphärischer Außenspiegel gesammelt und die Schlussfolgerungen des ersten Experiments weiter präzisiert werden. Bevor im weiteren Verlauf die Ergebnisse diskutiert werden und eine Einordnung der Befunde in die bestehende Literatur geschieht, sollen auch bei diesem Experiment noch einmal kurz die zentralen Ergebnisse zusammengefasst werden:

- In dem vorliegenden Versuch wurden die tatsächlichen Kollisionszeitpunkte (t)t/c selten überschätzt, es fanden sich fast ausschließlich Unterschätzungen. Im Vergleich zur (t)t/c wurde daher fast immer konservativer (also sicherer) geschätzt.
- Die Unterschätzungen der (t)t/c waren erheblich, sie lagen zwischen 51,67 % mit dem planen Spiegel und 45,67 % mit dem sphärischen Spiegel.
- Die Schätzungen mit dem asphärischen Spiegel lagen von der Genauigkeit zwischen den Schätzungen mit dem planen und dem sphärischen Spiegel (Unterschätzung von 48,26 %).
- Mit dem planen Spiegel sind die Schätzungen im Vergleich zu den tatsächlichen Kollisionszeitpunkten damit am schlechtesten, da die Unterschätzungen am größten sind. Unterschätzungen der Kollisionszeitpunkte sind im Straßenverkehr jedoch als sicher anzusehen.
- Dies bedeutet aber auch, dass im Vergleich zum planen Spiegel sowohl mit dem sphärischen als auch mit dem asphärischen Spiegel die Kontaktzeiten signifikant länger eingeschätzt (überschätzt) werden. Dies ist unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit negativ zu beurteilen, bezieht sich allerdings nur auf den Vergleich zum planen Spiegel, die tatsächlichen Zeiten wurden in diesem Experiment deutlich unterschätzt.

- Nicht-lineare Regressionen konnten zeigen, dass in den vorliegenden Daten signifikante Unterschiede zwischen den drei Spiegeln bestehen. Die Kontaktzeiten mit dem planen Spiegel sind signifikant kürzer als mit dem asphärischen Spiegel, die wiederum signifikant kürzer als mit dem sphärischen Spiegel sind. Auch der Unterschied zwischen dem planen und dem sphärischen Rückspiegel wurde in diesen Analysen signifikant.
- Eine lineare Funktion zeigte in dem zur Verfügung stehenden Datensatz die beste Anpassung an die Daten. Die (p)t/c lässt sich daher am besten durch eine lineare Funktion von Distanz und Geschwindigkeit darstellen.
- In diesem Experiment war die Leistung der Versuchspersonen mit dem asphärischen Spiegel nicht schlechter als mit dem sphärischen Spiegel, ein Nachteil durch die Benutzung dieses Spiegels konnte nicht beobachtet werden.
- Im Gegensatz zum ersten Experiment zeigte sich kein Effekt der Erfahrung. Die Schätzung der (t)t/c war in diesem Experiment unabhängig von Vorerfahrungen mit den einzelnen Spiegeltypen.

Einige Fragen in Bezug auf die Ergebnisse bleiben jedoch noch offen oder bedürfen einer weiteren Diskussion. So ist das Entfernen von Ausreißer-Werten, die mehr als ± 3 Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt sind, zwar eine übliche Vorgehensweise, in der vorliegenden Untersuchung jedoch aus mehreren Gründen diskussionswürdig. Zum einen kann argumentiert werden, dass gerade die Ausreißer, die sehr stark überschätzt haben, ein Sicherheitsrisiko im Verkehr darstellen würden. Dieses Argument ist zwar korrekt, es wurden jedoch 7 Ausreißer beim planen Spiegel entfernt, 3 beim sphärischen und 5 beim asphärischen Spiegel, sodass es nicht mehr extreme Werte mit dem asphärischen Spiegel im Vergleich zu den anderen Spiegeln gab.

Zum anderen könnte man jedoch einen gewissen Bias bei der Eliminierung der Ausreißer kritisieren, da -3 Standardabweichungen immer bis in den negativen Wertebereich gingen und solche Werte versuchsbedingt gar nicht möglich waren (es ging um Schätzungen der Kontaktzeiten, negative Werte konnten vom PC aber nicht erfasst werden, da die Messung erst bei Überfahren der zweiten Lichtschranke begann). Der Wert 0 kam hingegen öfter vor, wurde jedoch in der Analyse behalten, obwohl

dieser Wert ungenau ist. Ein Wert von 0 bedeutet nämlich, dass die Versuchsperson den Knopf gedrückt hat, während der Spiegel noch aufgedeckt war und sich das Versuchsfahrzeug zwischen den Lichtschranken befand. Wie lange der Spiegel noch aufgedeckt war, d. h., wie viel Zeit bis zum Verdecken des Spiegels verging und wie viel zu früh die Versuchsperson den Knopf gedrückt hat, kann daher nicht genau gesagt werden (der Wert beträgt jedoch maximal 2 Sekunden). Zu früh den Knopf zu drücken wurde also in gewisser Weise etwas bevorzugt, da als minimale Zeit der Wert 0 registriert wurde und negative Zeiten somit nie erfasst wurden, während es beim Überschätzen kein Zeitlimit gab.

Man muss zudem bedenken, dass Ausreißer über den Mittelwert definiert wurden, sodass es vorkommen konnte, dass eine Versuchsperson, die sehr genau die (t)t/c geschätzt hat, trotzdem eliminiert wurde, weil alle anderen Versuchspersonen sehr stark unterschätzend geantwortet haben. Da diese Problematik jedoch relativ wenige Werte betraf (15 Ausreißer-Werte bei 1.350 Werten), die durchgeführte Analysen die Vorteile klar aufgezeigt haben (vgl. den Zuwachs des Determinationskoeffizienten R^2) und weitere Berechnungen demonstrieren konnten, dass die Zusammenhangsstruktur der einzelnen Spiegel zueinander erhalten blieb, wird die gewählte Vorgehensweise als angemessen und legitim betrachtet.

In der Beschreibung der Methode wurde schon kurz angesprochen, dass durch das Abkleben der Außenspiegel das Sichtfeld relativ klein wurde. Die Notwendigkeit dieser Maßnahme wurde ebenfalls betont. Es bleibt jedoch die Frage, ob durch die Eigenschaften des planen Spiegels dieser durch das gewählte Vorgehen benachteiligt wurde. Das Sichtfeld war bei diesem Spiegel am kleinsten und einige Versuchspersonen äußerten nach Beendigung des Versuchs, dass sie mit diesem Spiegel die meisten Schwierigkeiten hatten. Vergleicht man die Ergebnisse dieses Experiments jedoch mit dem ersten Experiment, so fanden sich auch dort die größten Unterschätzungen. Des Weiteren finden sich, wie in Kapitel 6.2.3 beschrieben wurde, auch in der Literatur zur Schätzung der Kontaktzeit ohne Außenspiegel zum Teil erhebliche Unterschätzungen der (t)t/c. Aus diesen Gründen wird nicht davon ausgegangen, dass der plane Spiegel durch das Versuchsdesign unverhältnismäßig gegenüber den anderen Spiegeltypen benachteiligt wurde.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist die Frage, inwieweit die geforderte Handlung der Versuchsperson das normale Verhalten im Straßenverkehr repräsentiert. Dies ist insofern relevant, da damit der Frage nachgegangen wird, ob das Drücken eines Knopfes eine geeignete Methode ist, interindividuelle Unterschiede in der Wahrnehmung zu erfassen (vgl. hierzu z. B. BOOTSMA, 1989 [7]). Eine Begründung für diese Entscheidung wurde jedoch bereits in Kapitel 6.2.5 gegeben.

In weiteren Experimenten sollten dennoch etwas mehr Handlungskomponenten integriert werden, als dies in den bisherigen Experimenten durch verbale „Magnitude Estimation“ und (t)/c-Schätzung durch Knopfdruck möglich war. Möglicherweise verändern sich dadurch die Ergebnisse etwas. Die Verhältnisse der unterschiedlichen Spiegeltypen würden wahrscheinlich erhalten bleiben, die Unterschätzungen wären aber möglicherweise weniger stark ausgeprägt. So wäre eine Hypothese, dass bei größerer Orientierung an Handlungen die Schätzungen mit planen Außenspiegeln genauer (= dichter an der Realität) sind und die Versuchspersonen mit sphärischen und teilasphärischen Spiegeln sowohl im Verhältnis zu den realen Distanzen als auch im Vergleich zum planen Spiegel überschätzen.

Die besondere Bedeutung angemessener Handlungen wird auch in der Literatur gesehen. So können Ergebnisse eines Experiments von BOOTSMA (1989) [7] auch auf die Operationalisierung des zweiten Experiments übertragen werden. Hätten die Versuchspersonen mit ihrem Auto tatsächlich einen Spurwechsel vollziehen müssen, dann hätten sie 2 Freiheitsgrade gehabt (1. wann bzw. ob sie starten und 2. wie schnell sie sich bewegen, also wie stark der Wagen beschleunigt). Ein Druck auf einen Knopf lässt demgegenüber nur die erste Entscheidung zu, die Versuchsperson hat daher nur einen Freiheitsgrad in ihrer Handlung. BOOTSMA (1989) [7] zeigt weiter auf, dass es eine handlungsabhängige Nutzung von perzeptuellen Informationen gibt (man also Wahrnehmung und Handlung nicht trennen kann).

Die literaturkonforme Unterschätzung der tatsächlichen Kontaktzeiten in diesem Experiment sowie die Unterschätzung der Distanzen im ersten Experiment lassen sich vielleicht durch eine generelle Tendenz, konservativ (also vorsichtig) zu sein, erklären. Ein Beispiel: Bei einem Sprung über einen Graben springt man üblicherweise weiter, als man

müsste, man ist also vorsichtig, was aber auch als Überschätzung der Distanz interpretiert werden könnte. In den beiden ersten Experimenten haben die Versuchspersonen die Distanzen bzw. Kontaktzeiten jedoch unterschätzt. Diese Unterschätzung ist aber auch wieder konservativ, da ein zu frühes Drücken des Knopfes einem unfallvermeidenden Verhalten entspricht.

Warum nun aber der teilasphärische Spiegel nicht der schlechteste Außenspiegel ist, obwohl er die größte Verzerrung aufweist, bleibt weiterhin erklärungsbedürftig. Eine Begründung könnte sein, dass er zwar die größte Verzerrung hat, dieses aber ein wenig dadurch kompensiert wird, dass er auch das größte Sichtfeld (inklusive Tiefenreizen u. Ä.) bietet. Experimentell ließe sich dies dadurch überprüfen, dass man nicht, wie in den bisherigen Experimenten, die abgeklebte Fläche auf dem Spiegel konstant hält, sondern das mit dem Spiegel mögliche Sichtfeld bei jedem Spiegel gleich groß gestaltet. Der teilasphärische Spiegel hätte demnach die kleinste, der sphärische eine mittlere und der plane die größte sichtbare Fläche. Bei gleich großer Spiegelfläche scheinen die Nachteile des teilasphärischen Spiegels jedoch nicht so ausgeprägt zu sein, dass sie sich in schlechteren Leistungen in den durchgeführten Experimenten niederschlagen.

Ein Vergleich der vorliegenden Befunde mit den Ergebnissen der in der Literatur beschriebenen Experimente fällt relativ eindeutig aus. Genau wie bei FISHER & GALER (1984) [31] zeigte sich auch bei den vorliegenden Experimenten, dass die wahrgenommene Zeit bis zur Kollision mit konvexen Spiegeln kürzer als die tatsächliche Zeit eingeschätzt wird. In der Untersuchung von FISHER & GALER (1984) [31] sank jedoch die minimal akzeptierte Sicherheitsgrenze mit zunehmender Krümmung im Vergleich zu einem planen Spiegel. Dies kann als Überschätzung im Vergleich zum planen Spiegel interpretiert werden (ein verkehrsgefährdendes Verhalten) und fand sich auch in diesem Experiment.

Wie schon in Kapitel 6.2.3 dargestellt wurde, finden sich in der Literatur zu Kontaktzeitschätzungen auch ohne die Variable Spiegel deutliche Unterschätzungen von ca. 20-40 %. In dem vorliegenden Experiment wurden zwar noch größere Unterschätzungen (bis 51,67 %) gefunden, das Sichtfeld war jedoch auch relativ klein. Die gefundenen Unterschätzungen scheinen daher plausibel zu sein

und können als mit der Literatur vereinbar gelten. Auch in diesem Experiment gab es, wie in der Literatur beschrieben wird, Versuchspersonen, die trotz der allgemeinen Tendenz zur Unterschätzung sicherheitsrelevant überschätzt haben.

In der Literatur wird weiterhin manchmal eine Beeinflussung der Kontaktzeitschätzung von anderen Faktoren beschrieben (z. B. der Distanz oder Geschwindigkeit, vgl. HOFFMANN & MORTIMER, 1994 [53]). Eine solche Beeinflussung müsste sich durch einen nicht-linearen Zusammenhang zwischen tatsächlicher und wahrgenommener Kontaktzeit zeigen oder es sollten sich zumindest Unterschiede in den Standardabweichungen finden lassen. Wie bereits in Kapitel 6.2.6 geschildert wurde, konnte ein nicht-linearer Zusammenhang nicht bestätigt werden. Mit Hilfe von Streudiagrammen zeigte sich jedoch, vergleichbar mit den Befunden von HOFFMANN & MORTIMER (1994) [53], dass die Schätzungen der Kontaktzeiten abhängig von den Distanzen sind (mit zunehmendem Abstand war eine Zunahme der Standardabweichung der Kontaktzeitschätzungen zu beobachten). Tendenziell bestätigte sich in dem vorliegenden Datensatz auch das Ergebnis von HOFFMANN & MORTIMER (1994) [53] bezüglich der Geschwindigkeit. So zeigte sich auch hier ein Einfluss der Geschwindigkeit auf die Beurteilung der Kontaktzeit. Ein Sinken der relativen Geschwindigkeit führte zu leicht steigenden Standardabweichungen.

Des Weiteren fanden sich im zweiten Experiment keine Geschlechtseffekte (Spiegel • Geschlecht: $F(2, 56) = 1.422$, n. s.).

Die erhobenen Daten deuten darauf hin, dass die Versuchspersonen zur Beurteilung der Kontaktzeit mehr auf die Distanzinformationen zurückgreifen als auf die Informationen über die Geschwindigkeit des sich nähernden Fahrzeugs. Wie schon in Kapitel 6.2.3 dargelegt wurde, findet sich auch dieses Ergebnis in der bestehenden Literatur. Als Beispiele sei hier nur noch einmal kurz auf die Artikel von HILLS (1980) [52], FISHER & GALER (1984) [31] und MORTIMER (1971) [67] hingewiesen. Schon MORTIMER (1971) [67] stellte fest, dass Versuchspersonen die Geschwindigkeit eines sich nähernden Fahrzeugs schlecht einschätzen können und diese unterschätzen. Das Unterschätzen der Geschwindigkeit ist in Bezug auf die Verkehrssicherheit negativ zu bewerten. Trotz einer Erhöhung der Geschwindigkeit war die von den Versuchspersonen in seinem Experiment akzeptierte Lücke für

einen Spurwechsel (zeitlich gemessen) kleiner als bei langsameren Geschwindigkeiten. Dies war jedoch unabhängig vom verwendeten Spiegeltyp. Die Daten deuten ebenfalls darauf hin, dass der übermäßig hohe Beitrag der Distanz zur Beurteilung der Kontaktzeit unabhängig vom verwendeten Spiegeltyp besteht. Falls sich der Befund einer Überbetonung von Distanzen bei Kontaktzeitschätzungen bewahrheiten sollte, so kann dies ein relativ gefährliches Verhalten sein, insbesondere bei hohen Differenzgeschwindigkeiten auf Autobahnen. Dies stellt jedoch eher eine generelle Schwierigkeit dar als ein durch bestimmte Spiegeleigenschaften hervorgerufen Problem.

6.3 Drittes Experiment

Das dritte Experiment wurde im September 2004 auf dem Gelände der Fachhochschule Trier durchgeführt. Der Versuch wurde als Feldexperiment mit statischem Design geplant und sollte der Frage nachgehen, welche Vorteile ein teilasphärischer Spiegel gegenüber einem sphärischen Spiegel hat. Da sich in den ersten Experimenten keine Nachteile des teilasphärischen Spiegels in Bezug auf Distanz-, Geschwindigkeits- und Kontaktzeitschätzungen zeigten, sollten in diesem Versuch die vermeintlichen Vorteile des verkleinerten toten Winkels überprüft werden. Das Hauptziel des vorliegenden Experiments bestand daher in der Überprüfung der Frage, ob die Vorteile des größeren Sichtfeldes im teilasphärischen Spiegel auch in der Realität einen Gewinn darstellten. Die physikalischen Eigenschaften und theoretischen Berechnungen der Sichtfelder (vgl. Kapitel 3.1.3) legten zwar den Schluss nahe, dass in teilasphärischen Spiegeln Objekte im toten Winkel erkannt werden können, ob dies jedoch tatsächlich auch zu einer experimentell nachweisbaren Verbesserung der Erkennensleistung im Vergleich zu sphärischen Außenspiegeln führt, war noch unklar. Dies entsprach mit anderen Worten der Frage, ob der Vorteil der besseren Sicht nach hinten mit dem Nachteil einer längeren Reaktionszeit erkauft wird oder Fahrzeuge, die im teilasphärischen Spiegel sichtbar sind, möglicherweise trotzdem aufgrund der optischen Verzerrungen nicht korrekt erkannt werden. Sollte sich der teilasphärische Spiegel im Vergleich zum sphärischen Spiegel in diesem Experiment nicht als überlegen herausstellen, so bestünde keine Veranlassung, einen teilasphärischen Spiegel einem sphärischen Außenspiegel vorzuziehen.

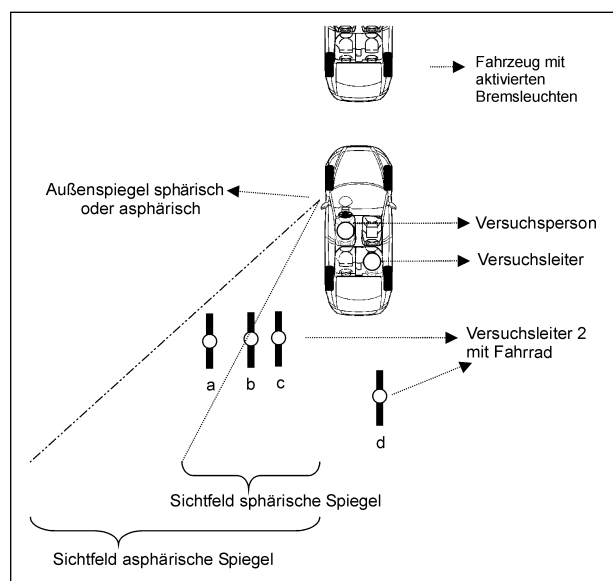


Bild 6.20: Positionen des Fahrrads

Die Versuchsanordnung (siehe Bild 6.20) wurde den Erfordernissen der oben genannten Fragestellung angepasst und sah vor, dass die Versuchspersonen in einem stehenden Fahrzeug saßen und im Außenspiegel (entweder sphärisch oder teilasphärisch) einen Versuchsleiter auf einem Fahrrad beobachteten, der an einer von 4 verschiedenen Positionen stand (vollständig im toten Winkel des sphärischen Spiegels, teilweise im toten Winkel des sphärischen Spiegels, vollständig sichtbar, nicht im Sichtfeld). Die Versuchspersonen mussten beurteilen, ob der Versuchsleiter mit dem Fahrrad im Außenspiegel zu sehen (kein Spurwechsel) oder ob die Spur frei war (Spurwechsel möglich). Gemessen wurden zum einen die Reaktionszeit bis zur Antwort und zum anderen die Richtigkeit der Antwort.

6.3.1 Versuchsaufbau

Teilnehmer des Experiments

A priori wurde eine Planung des Stichprobenumfangs durchgeführt. Bei einem α -Niveau von 5 %, einer Teststärke $1-\alpha$ von 80 % und unter Annahme eines kleinen bis mittleren Effekts ($f = .15$) ergab sich eine Stichprobengröße von 12 Versuchspersonen für den Haupteffekt des Spiegels und von 17 Versuchspersonen für die relevante Interaktion der Faktoren Spiegel und Position. Dementsprechend wurden 17 Versuchspersonen als minimale Stichprobengröße festgelegt.

Insgesamt nahmen 33 Versuchspersonen an diesem Experiment teil. Voraussetzung für die Teilnah-

me an dem Experiment war der Besitz eines Pkw-Führerscheins. An diesem Experiment nahmen neben Studentinnen und Studenten der Fachhochschule Trier auch Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Fachhochschule Trier sowie ein Mitarbeiter des Fachs Psychologie der Universität Trier teil. Die Teilnahme war freiwillig und die Versuchspersonen wurden nicht entlohnt. Das Durchschnittsalter betrug 31,5 Jahre, die jüngste Person war 22 Jahre alt, die älteste 55 Jahre. 5 Versuchspersonen waren weiblich und 28 männlich. Falls Fehlsichtigkeiten auf Seiten der Teilnehmer bestanden, so wurden diese, wie in den ersten beiden Experimenten, durch geeignete Maßnahmen (Brille, Kontaktlinsen) korrigiert. 12 Versuchspersonen hatten an der linken Seite ihres eigenen Pkw einen planen Außenspiegel, 9 einen sphärischen und 12 einen teilasphärischen Spiegel.

Methode

Damit die Versuchspersonen ausschließlich aufgrund der Sicht im linken Außenspiegel reagierten, wurden sowohl der Innenspiegel als auch der rechte Außenspiegel während dieses Versuchs komplett abgeklebt. Des Weiteren wurde die Sicht aus dem linken hinteren Seitenfenster eingeschränkt, sodass ein direkter Blick zur Seite bzw. ein Schulterblick keine Informationen über die Position des Fahrrads lieferte. Zu diesem Zweck wurde die hintere Seitenscheibe vollständig abgeklebt. Die linken Außenspiegel wurden zudem so vorbereitet, dass während des Versuchs leicht und schnell zwischen dem sphärischen und dem teilasphärischen Außenspiegel gewechselt werden konnte.

Neben der unabhängigen Variablen Spiegel mit ihren beiden Stufen sphärisch und teilasphärisch wurde die Position des Fahrrads variiert. Es wurde versucht, in besonderem Maße die Vorteile des teilasphärischen Spiegels herauszuarbeiten. Zu diesem Zweck waren die Positionen des Fahrrads so gewählt, dass sie vollständig oder teilweise im toten Winkel des sphärischen Spiegels lagen. Als Kontrolle wurden zusätzlich Positionen gewählt, die zum einen in beiden Spiegeln vollständig sichtbar und zum anderen in keinem der beiden Spiegel zu sehen waren. Somit ergaben sich vier verschiedene Positionen (a: vollständig im toten Winkel des sphärischen Spiegels, b: teilweise im toten Winkel des sphärischen Spiegels, c: vollständig sichtbar, d: nicht im Sichtfeld). Der Versuchsaufbau wird in Bild 6.20 veranschaulicht. Das Fahrrad befand sich 2,7 Meter hinter dem Pkw der Versuchsperson

und war 4,5 Meter (Position a), 3,8 Meter (Position b) bzw. 1,9 Meter (Position c) seitlich vom Pkw versetzt. Das Fahrzeug mit den während der Durchgänge aktivierten Bremsleuchten befand sich 3,9 Meter vor dem Pkw der Versuchsperson.

Die Beurteilung der Möglichkeit zu einem Spurwechselmanöver geschah zum einen über das Setzen des Fahrtrichtungsanzeigers (= Spurwechsel möglich), zum anderen über die Betätigung der Bremse (= Spurwechsel nicht möglich).

Als abhängige Variable konnte einerseits die Reaktionszeit zwischen der Präsentation des Fahrrads und der Antwort der Versuchsperson erfasst werden, andererseits wurden auch die Fehler der Versuchsperson registriert. Hierbei wurden zwei Fehler unterschieden:

1. Die grundsätzliche Frage, ob die Entscheidung der Versuchsperson richtig oder falsch war. 2. Die Art des Fehlers wurde ausgewertet, d. h., ob gebremst wurde, obwohl die Möglichkeit zum Spurwechsel bestand (ein übervorsichtiges, konservatives Verhalten), oder ob sich für einen Spurwechsel entschieden wurde, obwohl ein Bremsmanöver erforderlich gewesen wäre (ein gefährliches Verhalten).

Die Positionen a-c erforderten ein Bremsen als richtige Reaktion der Versuchsperson, da sich ein Fahrrad in der Nähe des Fahrzeugs der Versuchsperson befand. Bei Position d war das Setzen des Fahrtrichtungsanzeigers die korrekte Reaktion, da sich kein Fahrrad in der benachbarten Spur befand. Eine Frage, die es zu klären galt, war daher, in wie viel Prozent der Fälle das Setzen des Fahrtrichtungsanzeigers die richtige Antwort sein sollte und bei wie vielem Bremsen (wie also das Verhältnis von Bedingung d zu a-c sein sollte). Es wurde sich für eine Gleichverteilung von Bremsen und Blinken entschieden, d. h., in 50 % der Fälle sollte das Setzen des Fahrtrichtungsanzeigers die richtige Reaktion und in 50 % der Fälle Bremsen richtig sein. Aus diesem Grund wurde die Position d häufiger als die anderen Positionen präsentiert. Bei jeder Versuchsperson wurde jede Position mehrfach wiederholt. Pro Spiegel durchlief die Versuchsperson jeweils 4 Durchgänge mit jeder der 3 Positionen a, b und c und 12 Durchgänge mit dem Fahrrad in Position d (dies entsprach dem oben beschriebenen Verhältnis von 50 % Fahrtrichtungsanzeiger setzen zu 50 % Bremsen).

Als Alternative wären auch vier Wiederholungen bei jeder der Positionen a-d möglich gewesen. Dieses Vorgehen hätte bei der Auswertung Vorteile gehabt (s. u.), wäre jedoch mit einem Risiko behaftet gewesen. Da die vorherrschende richtige Antwort unter diesen Bedingungen Bremsen gewesen wäre (75 % der Durchgänge), hätte nicht ausgeschlossen werden können, dass die Versuchspersonen eine Erwartung und somit eine Antworttendenz in Richtung Bremsen bilden. Dieses Verhalten hätte jedoch unter Umständen die Fragestellung beeinflusst, da ein Bias in Richtung der Bremsreaktion das Entdecken von Unterschieden im Antwortverhalten mit sphärischen und teilasphärischen Spiegeln erschweren könnte. Die Versuchspersonen hätten also möglicherweise eine Bremsreaktion aufgrund ihrer Erwartung gezeigt, auch wenn sie das Fahrrad im toten Winkel des sphärischen Spiegels gar nicht hätten sehen können. Ein Unterschied zwischen teilasphärischen und sphärischen Spiegeln wäre dann nur noch schwer feststellbar gewesen. Um diese Möglichkeit auszuschließen, wurde eine Gleichverteilung von richtigen Brems- und Blinkreaktionen gewählt.

Pro Spiegel wurden daher pro Person 24 Durchgänge durchgeführt, die intra- und interindividuell randomisiert wurden. Die Reihenfolge, in der die beiden Spiegel präsentiert wurden, wurde ebenfalls interindividuell variiert. Es ergaben sich insgesamt 48 Durchgänge pro Person.

Als Orientierung für den Versuchsleiter auf dem Fahrrad wurden mit Kreide Markierungen auf der Straße angebracht. Diese Markierungen kennzeichneten die jeweiligen Positionen a-d und waren aus dem Fahrzeug der Versuchsperson nicht sichtbar.

In diesem Experiment wurde nicht wie in den ersten beiden Experimenten ein Pkw oder eine Pkw-Attrappe als Versuchsobjekt verwendet, sondern die Versuchsperson sollte eine Person auf einem Fahrrad erkennen. Die Wahl eines Fahrrads als Versuchsobjekt hatte mehrere Gründe: Zum Ersten hatte ein Fahrrad die richtige Größe, um vollständig im toten Winkel eines sphärischen Spiegels zu verschwinden. Ein Pkw wäre demgegenüber zu groß gewesen, sodass ein Teil des Fahrzeugs immer zu sehen gewesen wäre, entweder im direkten Sichtfeld oder im Außenspiegel. Zweitens ließ sich ein Fahrrad leicht, geräuschlos und schnell von der jeweiligen Position zur nächsten verschieben. Das Versetzen eines Pkw hätte deutlich mehr Zeit be-

anspricht und eine akustische Beeinträchtigung des Versuchsablaufs hätte nicht ausgeschlossen werden können. Ein Motorrad wäre als Versuchsobjekt ebenfalls möglich gewesen, aufgrund der leichteren Handhabbarkeit und des geringeren Gewichts bei vergleichbaren Dimensionen wurde jedoch ein Fahrrad gewählt. Es erschien besonders wichtig, eine Verkehrssituation zu simulieren, in der nicht nur Pkw involviert sind. Insbesondere andere Verkehrsteilnehmer, wie z. B. Fahrradfahrer, sind bei Unfällen mit Pkw besonders gefährdet, da sie wesentlich ungeschützter sind und leicht übersehen werden können. Da vor allem im Stadtverkehr zudem viele Fahrradfahrer in Unfälle mit Pkw involviert sind, lässt sich die Relevanz des gewählten Versuchsdesigns nicht bestreiten. Diese Argumente sowie die Tatsache, dass es aufgrund der kleineren Größe erheblich schwerer ist, ein Fahrrad im Vergleich zu einem Pkw im Spiegel zu entdecken, haben die Autoren des vorliegenden Berichts dazu bewogen, ein Fahrrad als Versuchsobjekt zu verwenden. Sollte also entweder der sphärische (aufgrund des Vorhandenseins eines kleinen toten Winkels) oder der teilasphärische Spiegel (aufgrund der stärkeren Verzerrung) Nachteile haben, so wurde durch die Verwendung eines kleineren Versuchsobjekts die Wahrscheinlichkeit erhöht, diesen Effekt auch zu finden. Außerdem bestand aufgrund der Größe nur bei einem Fahrrad die Möglichkeit, die Positionen a-c seitlich zu variieren, sodass eine Konfundierung der Position des Fahrrads mit der Entfernung zum Spiegel vermieden werden konnte. Bei einem Pkw wäre demgegenüber zwangsläufig eine Konfundierung mit der Entfernung gegeben gewesen, da eine Veränderung der Positionen im toten Winkel parallel nebeneinander nicht möglich gewesen wäre. Bei einer Anordnung der Positionen hintereinander in unterschiedlicher Entfernung zur Versuchsperson hätte jedoch nicht eindeutig geklärt werden können, wo die Defizite des jeweiligen Spiegels liegen, da gleichzeitig Entfernung und Position verändert worden wären. Als Lösung dieses Konfundierungsproblems bot sich daher die Kontrolle der Störvariablen „Entfernung“ durch ihre Konstanzhaltung an.

Insgesamt lässt sich der Versuchsaufbau daher mit einem Verkehrsgeschehen vergleichen, bei dem ein Verkehrsteilnehmer (Fahrradfahrer, Motorradfahrer) seitlich hinter einem Pkw steht, während dieser einen Spurwechsel initiieren will. Die Entscheidung zum Spurwechsel muss dabei sehr schnell getroffen werden. Das Signal zur Entscheidung wurde in

diesem Versuchsaufbau durch das rote Bremslicht des vorderen Fahrzeugs ausgelöst (vergleichbar einer Verkehrssituation mit einem vorausfahrenden Fahrzeug, das plötzlich bremst). Der Fahrer des Pkw muss nun schnell entscheiden, ob er das Spurwechselmanöver vollziehen kann oder ebenfalls bremsen muss. Im Gegensatz zu den ersten Experimenten kam es hier jedoch nicht auf Distanzschätzungen an, sondern ausschließlich auf das Erkennen von Objekten.

Vor Beginn des eigentlichen Experiments wurde den Versuchspersonen auch in diesem Experiment ein kurzer Fragebogen vorgegeben, sodass Informationen zu Alter, Geschlecht, (Vor-)Erfahrungen mit verschiedenen Spiegeln, zur Art des Spiegels am eigenen Fahrzeug und zum Fahrverhalten (jährliche Fahrleistung, Häufigkeit der Nutzung für Autobahn-, Landstraßen- oder Stadtfahrten) der Teilnehmer vorliegen.

Materialien

Als Fahrzeuge wurden diejenigen eingesetzt, die bereits in Experiment 2 Anwendung fanden (vgl. Kapitel 6.2.4), nämlich ein Ford Escort (Fahrzeug mit der Versuchsperson) und ein MCC Smart (mit bei jedem Durchgang aktivierten Bremsleuchten). Zur Sichtverdeckung diente ebenfalls die in Experiment 2 erwähnte Vorrichtung aus einer Blende und einem Pneumatikzylinder (vgl. Bild 6.10) zur Verdeckung eines Golf-III-Spiegels (Geometrie Spiegel vgl. 6.1.1). Der hinter der Versuchsperson sitzende Versuchsleiter bediente einen PC, der mit einem Messgerätesystem (Typ AnaDigIO der Firma Seng digitale Systeme GmbH, Göppingen) verbunden war, an dessen digitale Eingänge die Spannungssignale des Bremslichtschalters und der Schalter des Fahrtrichtungsanzeigers des Ford Escort angeschlossen waren. An die Ausgänge wurden das elektropneumatische 5-2-Wegeventil zur Steuerung des Pneumatikzylinders und ein Relais zur Aktivierung der Bremslichter des MCC Smart angebunden.

Der PC war – wie auch schon bei dem vorherigen Versuch – mit dem DV-Programm „Diadem“ der Firma National Instruments ausgestattet, auf dessen Oberfläche ein selbstständig ablaufendes Programm erstellt wurde, das die Versuchsdurchführung unterstützte. Der Versuchsleiter auf der Rückbank gab lediglich die Versuchspersonennummer ein und das Programm arbeitete daraufhin einen zuvor festgelegten Versuchsplan ab. Dieser enthielt für jede Versuchsperson den entsprechen-

den Spiegeltyp, mit dem begonnen wurde, und 24 randomisierte Fahrradpositionen. Danach folgten nach einem Spiegelwechsel 24 weitere Durchgänge, bis die Versuchsperson ihre Durchgänge absolviert hatte. Die Eingriffsmöglichkeit in den Ablauf war dadurch gegeben, dass der Versuchsleiter jeden Durchgang mit einer Tastenbetätigung am PC starten musste und eine Wiederholung eines fehlerhaften Ablaufs jederzeit möglich war.

Nach dem Starten des Durchgangs leuchteten die Bremslichter des MCC Smart auf, gleichzeitig wurde die Sicht auf den Spiegel durch Herunterschnellen der Blende für die Versuchsperson freigegeben. Die Zeitzählung im Programm begann mit Freigabe der Sicht und endete ohne zeitliche Verzögerung mit der Betätigung von Bremse oder Fahrtrichtungsanzeiger durch die Versuchsperson.

Das DV-Programm schrieb die Daten Reaktionszeit (beginnend mit dem Startsignal durch den Versuchsleiter 1 und beendet durch die Reaktion der Versuchsperson), Reaktion (Bremsen oder Fahrtrichtungsanzeiger setzen) und Anfangsbedingung (Versuchspersonennummer, Spiegeltyp, laufende Nummer des Versuchs) in eine Ausgabedatei.

6.3.2 Durchführung

Jede Versuchsperson wurde individuell getestet, die Durchführungszeit betrug pro Person ungefähr eine halbe Stunde. Das Experiment wurde bei Tageslicht und sowohl bei trockenem als auch bei regnerischem Wetter durchgeführt.

Nachdem die Versuchsperson im Pkw Platz genommen hatte, wurde sie instruiert, den linken Außenspiegel so einzustellen, dass sie im sphärischen Spiegel nur noch das Hinterrad des auf Position b stehenden Fahrrads sehen konnte. Gleichzeitig sollte jedoch auch noch ein kleiner Teil des eigenen Fahrzeugs (der hintere Türgriff) im Außenspiegel zu sehen sein. Die Anweisung beim teilasphärischen Spiegel lautete, den Spiegel so einzustellen, dass ebenfalls der Türgriff zu sehen und zusätzlich das Fahrrad auf Position a noch im asphärischen Teil erkennbar ist. Geringfügige Fehleinstellung des jeweiligen Außenspiegels konnten während des Versuchs jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden, da die Einstellung des Außenspiegels immer eine subjektive Komponente beinhaltet. So ist die Frage, wann etwas gerade noch sichtbar ist, interindividuell nicht ganz zu standardisieren und auch von der Kopfhaltung der Versuchsperson abhängig. Insbesondere bei Posi-

tion b kann dies dazu geführt haben, dass Versuchspersonen das Fahrrad mit Hilfe des sphärischen Außenspiegels in einem Durchgang erkennen konnten, in einem anderen Durchgang jedoch den Fahrtrichtungsanzeiger setzten, weil sie einen Spurwechsel für möglich hielten. Da die Sicht durch den Außenspiegel neben anderen Faktoren auch abhängig von Körpergröße und Kopfhaltung der Versuchsperson war, ließ sich die korrekte Einstellung des Spiegels auch nicht eindeutig von den Versuchsleitern überprüfen. Die detaillierten schriftlichen Instruktionen und die visuellen Orientierungspunkte (Türgriff und Fahrrad) erschienen jedoch als beste Annäherung an eine Standardisierung der Spiegeleinstellung. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Versuchspersonen (mit geringfügigen Abweichungen) in Bezug auf ihr Sichtfeld denselben Bereich sehen konnten.

Vor Beginn der 48 Durchgänge wurden 2 Probendurchgänge durchgeführt (jeweils eine Brems- und eine Blinkreaktion), um die Versuchspersonen mit dem Versuchsablauf bekannt zu machen. Durch dieses Vorgehen wurde gewährleistet, dass eventuelle Missverständnisse bezüglich der an die Versuchspersonen gestellten Aufgabe vor Beginn der Datenerhebung geklärt waren.

Es standen zwei Versuchsleiter zur Verfügung. Ein Versuchsleiter (VL 1) saß schräg hinter der Versuchsperson auf der Rückbank des stehenden Fahrzeugs, gab der Versuchsperson die Instruktionen, beantwortete gegebenenfalls Fragen und bediente den Laptop. Der zweite Versuchsleiter (VL 2) saß auf dem Fahrrad, variierte die Positionen gemäß dem Versuchsplan und tauschte zwischen den betreffenden Durchgängen die Spiegel aus. Es wurde Wert darauf gelegt, dass der zweite Versuchsleiter immer gleich gekleidet war (nicht zu auffällig, dunkle Bekleidung), damit die Erkennensleistung nicht durch Hinweisreize durch besonders farbige Stoffe verfälscht wurde. Das Bild 6.22 zeigt exemplarisch aus der Perspektive der Versuchsperson den Fahrradfahrer auf Positionen c (unter Verwendung des teilasphärischen Außenspiegels).

Nachdem die Versuchsperson den Fragebogen ausgefüllt, die schriftlichen Instruktionen gelesen und die Probendurchgänge absolviert hatte, wurde mit dem Experiment begonnen. Der Blick der Versuchsperson war zu Beginn eines jeden Durchgangs zunächst nach vorne gerichtet. Nachdem der VL 1 am PC den Durchgang gestartet hatte, leuchteten im direkten Sichtfeld der Versuchsperson die Bremslichter des MCC Smart auf. Gleich-

zeitig mit der Aktivierung des Lichts wurde vom PC auch ein Impuls an den Pneumatikzylinder übermittelt, der den Blick durch den Außenspiegel freigab. Die Messung der Reaktionszeit startete ebenfalls. Das Aufleuchten der Bremslichter war das Zeichen für die Versuchsperson ihren Kopf zur Seite zu drehen, um in den linken Außenspiegel zu blicken. Die Versuchsperson, musste nun so schnell wie möglich beurteilen, ob sie ein Spurwechselmanöver durchführen könnte, und daraufhin die entsprechende Reaktion zeigen (bremsen oder Fahrtrichtungsanzeiger setzen). Nach erfolgter Reaktion der Versuchsperson stoppte die Reaktionszeitmessung, die Bremslichter erloschen und der PC übermittelte ein Signal an den Pneumatikzylinder, sodass die Sicht durch den Außenspiegel wieder verdeckt wurde. Dies war auch das Zeichen für die Versuchsperson, wieder nach vorne zu blicken und auf den Start des nächsten Durchgangs zu warten. Der zweite Versuchsleiter blieb während der Dauer des ganzen Durchgangs auf



Bild 6.21: Versuchsaufbau Experiment 3



Bild 6.22: Blick in den teilsphärischen Spiegel, Position c

dem Fahrrad sitzen und bewegte sich erst dann zur neuen Position, wenn die Sicht durch den Außenspiegel wieder verdeckt wurde. Nachdem VL 2 sich auf der neuen Position befand, gab er dem ersten Versuchsleiter ein Handzeichen. VL 1 aktivierte dann am PC den nächsten Durchgang, der daraufhin startete. Nach 24 Durchgängen wechselte der VL 2 den Außenspiegel und die nächsten 24 Durchgänge begannen. Während des Versuchs erhielt die Versuchsperson keinerlei Rückmeldung über ihre Leistung.

Versuchsleitereffekte konnten dadurch reduziert werden, dass die Instruktionen schriftlich vorgelegt wurden und die Datenerfassung elektronisch erfolgte.

6.3.3 Ergebnisse

Wie in Kapitel 6.3.1 beschrieben, wurden die Positionen a-c jeweils vier Mal wiederholt, während die Position d zwölf Mal durchgeführt wurde, um dadurch eine Gleichverteilung von Brems- und Blinkreaktionen zu erreichen. Damit die Daten der Reaktionszeit mittels einer dreifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung auf allen drei Faktoren analysiert werden konnten, mussten die zwölf Werte der Position d auf vier Werte pro Spiegel reduziert werden. Daher wurden aus den zwölf Durchgängen für Position d zufällig vier ausgewählt, die dann in die Analyse gingen. Somit wurde eine $2 \cdot 4 \cdot 4$ -Varianzanalyse berechnet. Als Alternative hätten auch Mittelwerte aus jeweils drei Werten gebildet werden können. Auch dadurch wären vier Werte entstanden. Durch dieses Vorgehen wären jedoch die Varianzen verändert worden, sodass diese Variante verworfen wurde. Bei der Auswertung der Fehlerhäufigkeiten mit Hilfe von nicht-parametrischen Korrelationen war ein vergleichbares Vorgehen nicht nötig, da es in diesem Fall um einen Vergleich der Fehlerhäufigkeiten mit den beiden Außenspiegeln ging. In diese Analysen gingen daher alle verfügbaren Daten ein.

Aufgrund von Fehlern in der Durchführung musste die Versuchsperson Nr. 6 von den Analysen ausgeschlossen werden (der Versuchsperson wurden die Instruktionen in der falschen Reihenfolge vorgelegt, sodass die Außenspiegel falsch eingestellt wurden).

Da die Software nicht in allen Durchgängen fehlerfrei arbeitete, mussten einige Durchgänge nachträglich eliminiert werden und die Zahl der bei

den verschiedenen Analysen einbezogenen Durchgänge variierte leicht. Es kam vor, dass sowohl für Bremsen als auch für das Setzen des Fahrtrichtungsanzeigers eine Reaktionszeit erfasst wurde, sodass weder bestimmt werden konnte, ob ein Beurteilungsfehler vorlag noch welches die richtige Reaktionszeit war. Dies kam 18 Mal vor ($18/1584 = 1,136\%$ aller Durchgänge).

Für die Analyse der Reaktionszeit war die Richtigkeit des gezeigten Verhaltens jedoch unerheblich, sodass für die Berechnung der Varianzanalyse folgendermaßen vorgegangen wurde: Der jeweilige fehlerhafte Durchgang wurde ersetzt, indem der Mittelwert der drei weiteren Durchgänge der betreffenden Position gebildet wurde. Dieses Vorgehen wurde für die Positionen a-c gewählt (zwölf Fälle: $2 \cdot a$, $5 \cdot b$ und $5 \cdot c$). Befand sich das Fahrrad auf Position d (6 Fälle), so wurde der betreffende Durchgang nur eliminiert und nicht ersetzt, da aus den noch vorhandenen elf Durchgängen mit der Position d immer noch vier per Zufall ausgewählt werden konnten.

Für die Analyse der Fehlerhäufigkeiten war ein ähnliches Vorgehen nicht notwendig. Die betreffenden Fälle, in denen keine Beurteilung der Korrektheit der Entscheidung möglich war, wurden eliminiert und nicht in die Analyse mit einbezogen. Ein Ersetzen der Werte fand nicht statt.

Da die Variable „Fehler“ kein Intervallskalenniveau besitzt, sondern genau wie die Variable „Spiegel“ und „Position des Fahrrads“ lediglich Nominalskalenniveau hat, wurden zur Analyse der Daten nicht-parametrische Verfahren eingesetzt. Die berechneten Statistiken und Zusammenhangsmaße ermöglichen eine Aussage darüber, ob sich die Fehlerhäufigkeiten mit sphärischen von denen mit teilsphärischen Spiegeln unterscheiden. Die entsprechenden χ^2 -Tests nach PEARSON ergaben für die Position a einen Wert von $\chi^2(1) = 75.144$, $p < .001$, für die Position b von $\chi^2(1) = 6.471$, $p = .011$, für die Position c von $\chi^2(1) = 1.885$, $p = .17$ (nicht signifikant) und für die Position d einen Wert von $\chi^2(1) = 6.844$, $p = .009$. Nur bei Position c unterscheiden sich die beiden Spiegel daher nicht voneinander, bei allen anderen Positionen gibt es signifikante Unterschiede in den Fehlerhäufigkeiten. Bei Position a und b zeigten sich signifikant mehr „falsch gefährliche“ Reaktionen (Spurwechsel wurde trotz sichtbaren Fahrrads initiiert) mit dem sphärischen Außenspiegel im Vergleich zum teilsphärischen Spiegel. Befand sich das Fahrrad

hingegen auf der Position c, so gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Spiegeltypen. Ein signifikantes Ergebnis wäre auch nicht hypothesenkonform gewesen, da das Fahrrad in beiden Spiegeln gleich gut zu erkennen war. Bei Position d zeigt sich jedoch wieder ein signifikanter Unterschied zwischen den Spiegeln. Die Versuchspersonen machten mit dem teilsphärischen Spiegel mehr falsch konservative Fehler als mit dem sphärischen Spiegel. Das bedeutet also, dass die Versuchspersonen fälschlicherweise bremsen, obwohl sie den Fahrtrichtungsanzeiger setzen und die Spur wechseln konnten. Dieses Verhalten ist zwar falsch, jedoch eher als übervorsichtig und somit im realen Verkehrsgeschehen nicht als kritisch zu beurteilen. Ein grafischer Vergleich der Fehlerhäufigkeiten ist Bild 6.23 zu entnehmen.

Des Weiteren wurden die Fehlerhäufigkeiten der beiden Spiegeltypen in Abhängigkeit von der jeweiligen Erfahrung mit planen, sphärischen oder teilsphärischen Außenspiegeln untersucht. Erfahrungsabhängig ergab sich folgendes Bild: Hatte die Versuchsperson hauptsächlich Erfahrungen mit planen Außenspiegeln, so unterschieden sich die Fehlerhäufigkeiten des sphärischen und des teilsphärischen Spiegels nur bei Position a ($\chi^2(1) = 32.895$, $p < .001$). Bestanden hauptsächlich Erfahrungen mit sphärischen Spiegeln, so wurde ebenfalls nur die Position a signifikant ($\chi^2(1) = 14.085$, $p < .001$). Bei Versuchspersonen, die ihre Erfahrungen im Straßenverkehr hauptsächlich mit asphäri-

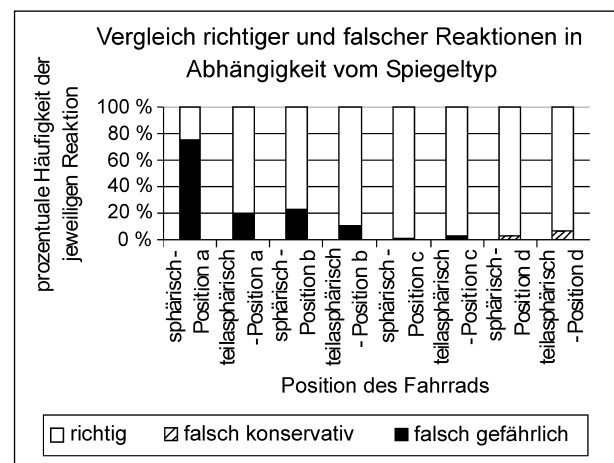


Bild 6.23: Vergleich der prozentualen Fehlerhäufigkeit in Abhängigkeit von der Position des Fahrrads und des Spiegeltyps. Bei Position a-c kann die Entscheidung der Versuchsperson per Definition entweder richtig oder falsch gefährlich sein, wohingegen sie bei Position d ausschließlich richtig oder falsch konservativ sein kann (vgl. hierzu auch Bild 6.20)

schen Außenspiegeln gemacht hatten, wurde der Vergleich der Fehlerhäufigkeiten sowohl bei Position a ($\chi^2(1) = 29.023$, $p < .001$) als auch bei Position b ($\chi^2(1) = 10.942$, $p = .001$) signifikant. Bei allen anderen Positionen wurde ein Vergleich nicht signifikant, was zumeist an der sehr geringen Anzahl an Fehlern lag. Wie sich aus den vorliegenden Ergebnissen aber erkennen lässt, besteht grundsätzlich kein Unterschied, der auf die Erfahrung mit den verschiedenen Spiegeltypen zurückzuführen ist. In diesem Versuch wurden mit dem sphärischen Spiegel, unabhängig von der Erfahrung, immer mehr falsch gefährliche Reaktionen gezeigt als mit dem teilasphärischen Spiegel.

Ein interessantes, jedoch statistisch nicht signifikantes Ergebnis soll dennoch kurz erwähnt werden. Der signifikante Unterschied in der Fehlerhäufigkeit bei Position b bei den Versuchspersonen mit Erfahrungen mit teilasphärischen Spiegeln wurde noch einmal genau untersucht. Der Grund für dieses Ergebnis lag in einer, im Vergleich zu den Fehlerhäufigkeiten bei den anderen Erfahrungsgruppen, erhöhten Anzahl an Fehlern mit dem sphärischen Spiegel, während etwas weniger Fehler mit dem teilasphärischen Spiegel gemacht wurden. Der Unterschied zwischen den Erfahrungsgruppen war jedoch, wie bereits oben erwähnt, nicht signifikant. Dieses Ergebnis könnte jedoch darauf hindeuten, dass eine Umgewöhnung von einem teilasphärischen Spiegel auf einen sphärischen Spiegel Schwierigkeiten mit sich bringt (da in diesem Fall mehr Fehler gemacht wurden) und dass diese Probleme bei der Umstellung möglicherweise größer sind als diejenigen bei einem Umstieg von einem sphärischen auf einen teilasphärischen Spiegel. Diese Hypothese bedarf allerdings einer gesonderten Untersuchung, bevor hierzu eine endgültige Schlussfolgerung gezogen werden kann. Diese Fragestellung ist jedoch nicht ohne Belang, beispielsweise bei der Nutzung von Leihwagen. Hier könnte der Fall eintreten, dass Personen, die an ihrem privaten Pkw einen teilasphärischen Außenspiegel besitzen, plötzlich mit einem sphärischen oder planen Außenspiegel am Straßenverkehr teilnehmen müssen. Der Verlust an Sichtfeld und die Umgewöhnung im Verhalten (z. B. die Notwendigkeit eines Schulterblicks) sind hier möglicherweise ein gravierendes Problem.

Wie oben bereits erwähnt wurde, wurden die Reaktionszeiten mittels einer $2 \cdot 4 \cdot 4$ -Varianzanalyse mit kompletter Messwiederholung analysiert. Es wurde jedoch weder der Faktor „Spiegel“ ($F(1, 29) < 1$)

noch irgendein anderer Faktor oder eine Interaktion verschiedener Faktoren signifikant. Auch die Erfahrung mit den verschiedenen Spiegeltypen (plan, sphärisch oder teilasphärisch) zeigte keinen unterschiedlichen Einfluss auf die abhängige Variable. Das einzige signifikante Ergebnis wies der Faktor „Position des Fahrrads“ mit $F(3, 87) = 7.11$, $p < .001$ auf. Da der MAUCHLY-Test auf Sphärizität auf eine Verletzung der Sphärizitätsannahme hinwies, wurde in diesem Fall eine Korrektur sowohl nach GREENHOUSE-GEISSER als auch nach HUYNH-FELDT vorgenommen, die jedoch nichts an dem signifikanten Ergebnis änderten. Um genauer herauszufinden, welche Positionen sich in ihren Reaktionszeiten unterschieden, wurden mehrere t-Tests berechnet. Bei einem den 6 durchgeführten t-Tests angepassten Alpha-Fehler-Niveau von $0.05/6 = 0.0083$ für jeden Einzeltest wurden folgende Vergleiche signifikant: Position a mit c ($t(31) = 3.825$, $p = .001$), Position a mit d ($t(31) = 2.858$, $p = .008$) und Position b mit c ($t(31) = 4.278$, $p < .001$). Wenn das Fahrrad auf Position a steht, hatten die Versuchspersonen demnach signifikant längere Reaktionszeiten, als wenn das Fahrrad auf Position c oder d stand. Die Beurteilung dauerte ebenfalls länger, wenn sich das Fahrrad auf Position b im Vergleich zu Position c befand. Da dieser Befund in Bezug auf die beiden untersuchten Spiegeltypen jedoch keine Aussage ermöglicht, wurden weitere t-Tests berechnet, die Aufschluss darüber geben sollten, wie sich die Reaktionszeiten in Abhängigkeit vom Spiegeltyp und der Position veränderten. Beim sphärischen Außenspiegel ergab sich folgendes Bild: Die Reaktionszeiten mit dem Fahrrad auf Position b waren im Vergleich zu Position c ($t(31) = 2.922$, $p = .006$) und d ($t(31) = 2.717$, $p = .011$) signifikant größer. Beim teilasphärischen Spiegel waren die Reaktionszeiten signifikant größer, wenn das Fahrrad auf Position a stand, im Vergleich zu den Positionen c ($t(31) = 4.196$, $p < .001$) und d ($t(31) = 2.822$, $p = .008$). Des Weiteren zeigte sich auch beim teilasphärischen Spiegel, dass die Beurteilung der Versuchsperson signifikant länger dauerte, wenn das Fahrrad auf Position b stand, wenn man diese Reaktionszeiten mit den entsprechenden Reaktionszeiten von Position c vergleicht ($t(31) = 2.768$, $p = .009$).

Diese Angaben beruhen auf Analysen mit dem konventionellen Alpha-Niveau von 5 %. Da in diesem Fall jedoch multiple Mittelwertvergleiche gemacht wurden und somit die Gefahr einer Kumulierung des Alpha-Fehlers bestand, wurde der Alpha-Fehler in diesem Fall ebenfalls entsprechend adjustiert.

Da zwölf einzelne t-Tests durchgeführt wurden und insgesamt ein Alpha-Fehler von 5 % angemessen erschien, wurde der Alpha-Fehler jedes einzelnen t-Tests auf $0.05/12 = 0.004167$ angepasst. Unter diesen strengeren Annahmen wurde nur noch der Unterschied zwischen den Reaktionszeiten von Position a zu Position c beim teilasphärischen Spiegel und keine Vergleiche beim sphärischen Spiegel signifikant.

Das signifikante Ergebnis des Faktors „Position des Fahrrads“ in der dreifaktoriellen Varianzanalyse ist also auf die oben genannten Ergebnisse der t-Tests zurückzuführen. Die Befundlage deutet daher darauf hin, dass beim sphärischen Spiegel die Position b die kritische Position ist. Dies ist hypothesenkonform, da das Fahrrad auf dieser Position nur zur Hälfte zu sehen war. Befand sich das Fahrrad auf den Positionen a und d, so war es nicht zu sehen. Daher sollten sich die Reaktionszeiten der Positionen a und d nicht signifikant unterscheiden. Dies wurde bestätigt. Die beiden Positionen wiesen ebenfalls keine signifikant unterschiedliche Reaktionszeit zu Position c auf. Positionen, in denen das Fahrrad eindeutig zu sehen bzw. nicht zu sehen war, wiesen daher vergleichbare Reaktionszeiten auf, während die in Bezug auf das Erkennen des Fahrrads schwere Position b längere Beurteilungszeiten benötigte.

Demgegenüber scheint beim teilasphärischen Spiegel die zum Rand hin stärkere Verzerrung einen Einfluss auf die Reaktionszeit auszuüben. Je weiter sich das Fahrrad am Rand des Spiegels befand, desto länger schien die Reaktionszeit zu sein (bei Position a länger als bei c und d und bei b größer als bei c). Dass sich beim teilasphärischen Spiegel die Reaktionszeiten von Position a und d unterscheiden, ist ebenfalls hypothesenkonform, da die Position a bei diesem Spiegeltyp zwar sichtbar, aber verzerrt ist. Dies sollte eine längere Beobachtungs- und Bearbeitungszeit zur Folge haben.

Insgesamt betrachtet muss man jedoch Folgendes beachten: Die Differenzen der über den Faktor „Wiederholung“ gemittelten Reaktionszeiten sind nicht besonders groß, sie betragen maximal 0,3 Sekunden. Ob die statistische Signifikanz einzelner t-Tests auch eine inhaltliche Relevanz besitzt, muss daher in Frage gestellt werden. Trotz der Unterschiede in den Reaktionszeiten bei den verschiedenen Kombinationen von Spiegel und Position waren der Unterschied zwischen den beiden Spiegeltypen und die Interaktion von Spiegel und Position des Fahrrads außerdem nicht signifikant.

Während also die geringere Fehlerhäufigkeit eindeutig für den teilasphärischen Spiegel spricht, so scheint dies nicht mit einer längeren Reaktionszeit aufgrund der verzerrenden optischen Eigenschaften einherzugehen.

6.3.4 Diskussion

Genau wie die ersten beiden Experimente konnte auch das dritte Experiment weitere Hinweise zur Beantwortung der Frage nach den Verkehrssicherheitsaspekten teilasphärischer Außenspiegel liefern. In diesem Versuch standen jedoch zum ersten Mal die potenziellen Vorteile dieses Spiegeltyps im Mittelpunkt der Fragestellung. Es konnte gezeigt werden, dass das größere Sichtfeld des teilasphärischen Spiegels trotz der damit verbundenen Verzerrungen tatsächlich nutzbar war und Objekte, die sich im asphärischen Teil des Spiegels befanden, auch richtig erkannt wurden. Während diese Objekte im sphärischen Spiegel nicht mehr zu erkennen waren, da sie außerhalb des verfügbaren rückwärtigen Sichtfelds lagen, bot der teilasphärische Spiegel ein nachweisbar größeres Sichtfeld, das trotz der optischen Verkleinerung die Erkennensleistung verbesserte. Die Fehlerhäufigkeit konnte, insbesondere in den „Tote-Winkel“-Positionen, deutlich reduziert werden, ohne gleichzeitig eine Erhöhung der Reaktionszeit zu verursachen.

Die wichtigsten Ergebnisse des dritten Experiments werden noch einmal kurz zusammengefasst:

- Mit einem teilasphärischen Außenspiegel auf der Fahrerseite wurden weniger Fehler bei der Objekterkennung gemacht.
- Objekte, die vollständig oder teilweise im toten Winkel des sphärischen Spiegels lagen und somit häufig falsche Entscheidungen bei der Verwendung eines sphärischen Spiegels hervorriefen, wurden mit Hilfe eines teilasphärischen Spiegels signifikant besser erkannt.
- War das Fahrrad in beiden Spiegeln deutlich zu erkennen, so unterschied sich die Fehlerhäufigkeit nicht.
- Das größere Sichtfeld des teilasphärischen Spiegels und die dadurch bedingte geringere Fehleinschätzung bei der Objekterkennung wurden nicht durch eine längere Reaktionszeit erkauft. Die beiden untersuchten Spiegeltypen unterschieden sich in ihren Reaktionszeiten statistisch nicht voneinander.

- Es war eine Tendenz erkennbar, dass beim sphärischen Außenspiegel die Position b (Fahrrad teilweise im toten Winkel) die längsten Reaktionszeiten hervorrief.
- Beim teilasphärischen Spiegel wiesen die Befunde darauf hin, dass die zum äußeren Rand (Position a) des Spiegels stärker werdende Verzerrung zu einer geringfügigen Erhöhung der Reaktionszeit führte.
- Die Reaktionszeiten lagen jedoch unabhängig von Spiegeltyp und Position im Durchschnitt zwischen 1,0-1,3 Sekunden.
- Die Erfahrung mit den verschiedenen Spiegeln hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse.

Neben diesen Befunden gibt es jedoch einige Ergebnisse, die etwas unklar bleiben. Eine Fragestellung, die im Rahmen des vorliegenden Versuchs nicht abschließend geklärt werden konnte, ist, warum bei Position d mit dem teilasphärischen Spiegel mehr falsch konservative Entscheidungen getroffen wurden.

Des Weiteren deuteten die Daten darauf hin, dass es schwieriger zu sein schien, bei vorhandenen Erfahrungen mit teilasphärischen Spiegeln wieder sphärische Spiegel zu verwenden. Bei dieser Konstellation traten bei Position b mehr Fehler auf, ein signifikanter Unterschied konnte jedoch nicht festgestellt werden. Dieses, auch unter Aspekten der Verkehrssicherheit, relevante Problem bedarf der weiteren Untersuchung durch gesonderte Experimente, da die vorliegenden Versuche nicht geeignet erscheinen, zu dieser Fragestellung eine abschließende Aussage zu treffen.

Als Schlussfolgerung sprechen die Ergebnisse des dritten Experiments für die Nutzung teilasphärischer Spiegel, da bei gleicher Reaktionszeit weniger Fehler beim Erkennen von Objekten im Außenspiegel (insbesondere im toten Winkel) gemacht wurden. Man kann daher sagen, dass es besser ist, ein verzerrtes Objekt im Spiegel zu sehen, als überhaupt kein Objekt sehen zu können.

Eine abschließende Schlussfolgerung unter Würdigung aller drei Experimente sowie der Literatur wird in der Gesamtdiskussion (Kapitel 7) erfolgen, hier sei nur so viel gesagt: Alle drei Experimente ergaben keine Nachteile des teilasphärischen Spiegels gegenüber den anderen Spiegeltypen – im

Gegenteil, die Verwendung teilasphärischer Außenspiegel scheint eher mit Vorteilen verbunden zu sein.

7 Zusammenfassende Diskussion

Dieses Kapitel gliedert sich in drei Abschnitte. Zunächst werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie zusammengefasst und diskutiert. Da jedes Experiment eine gesonderte Diskussion beinhaltet, wird auf eine ausführliche Erörterung an dieser Stelle verzichtet. Ausschließlich die für die Empfehlungen besonders bedeutsamen Argumente werden kurz gewürdigt. Danach werden Empfehlungen zur Überarbeitung der aktuellen Richtlinien gegeben und begründet. Das letzte Unterkapitel gibt einen kurzen Ausblick auf weitere Forschungsansätze. Fragestellungen, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht abschließend geklärt werden konnten, werden beschrieben.

7.1 Ergebnisinterpretation

Der empirischen Frage nach den Verkehrssicherheitsaspekten teilasphärischer Außenspiegel wurde neutral begegnet. Obwohl die Literatur eindeutig Vorteile in der Nutzung asphärisch gekrümmter Spiegel sieht, kann das Vorgehen in Bezug auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Spiegeltypen als ungerichtet angesehen werden. Zunächst wurde daher untersucht, ob die Einführung teilasphärischer Spiegel Nachteile beinhaltet (Experimente 1 und 2). Als diese Frage mit ausreichender Sicherheit und in Übereinstimmung mit der bestehenden Literatur geklärt war, wurde dazu übergegangen, die vermeintlichen Vorteile der teilasphärischen Spiegel einer genauen Prüfung zu unterziehen (Experiment 3).

Es wurde versucht, eine möglichst repräsentative Auswahl an Versuchspersonen zu finden. Aus diesem Grund wurden sowohl männliche als auch weibliche Personen ausgewählt, die unterschiedliche Erfahrungen mit planen, sphärischen und asphärischen Spiegeln hatten. Es wurden nicht nur Versuchspersonen ohne Fehlsichtigkeit, sondern auch Personen mit Brille oder Kontaktlinsen in den Experimenten berücksichtigt. Da auch die Körpergröße und das Alter der Versuchspersonen einen Einfluss auf die Ergebnisse haben könnten, wurden auch diese Faktoren in das Untersuchungsdesign

integriert. Es wurde also versucht, alle Bevölkerungsschichten, die ein Fahrzeug führen dürfen, in die Analysen mit einzubeziehen. Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Rekrutierung fehlten jedoch ältere Menschen und Senioren über 60 Jahre in den vorliegenden drei Untersuchungen. Wie die Auswirkungen der teilasphärischen Spiegel in dieser Altersgruppe sind, kann daher nicht abschließend geklärt werden. Einen Hinweis zur Beantwortung dieser Frage liefert aber de VOS (2000) [85], der untersucht hat, ob gekrümmte Spiegel bei älteren Verkehrsteilnehmern besondere Vor- oder Nachteile gegenüber planen Spiegeln haben. Da bei älteren Fahrern Bewegungen des Kopfes eingeschränkt sind, böte ein teilasphärischer Spiegel besonders große Vorteile, da die Kopfbewegungen nicht mehr so ausgeprägt sein müssten. Ein Nachteil wäre z. B. die mit dem Alter zunehmende Schwierigkeit, auf kurze Abstände zu fokussieren und somit die Bilder im Spiegel zu interpretieren (vgl. 5.1). In der Untersuchung von de VOS (2000) [85] überwogen die nachteiligen Effekte, sodass der Autor davon ausgeht, dass jüngere Fahrer mehr als ältere Verkehrsteilnehmer von teilasphärischen Spiegeln profitieren.

Obwohl sich im ersten Experiment eine literaturkonforme erfahrungsabhängige Komponente des teilasphärischen Spiegels bestätigte, sind aus dieser Tatsache heraus keine Nachteile zu erwarten. In den Experimenten 2 und 3 zeigten sich zudem keine Auswirkungen der Erfahrung.

Die Aussagen der Medizinischen Hochschule Hannover, die durch die Analyse von Unfalldaten versucht hat, einen Einfluss von Spiegelsystemen auf das Unfallgeschehen zu entdecken, erwiesen sich leider als nur eingeschränkt interpretierbar. Dies hat nach Meinung der Autoren dieses Berichts mehrere Gründe. So sind Unfälle in den seltensten Fällen monokausal auf eine Ursache zurückzuführen. Der verwendete Spiegeltyp ist hier nur ein Faktor unter vielen Möglichkeiten. Trotz eines Erhebungszeitraums von 16 Jahren (1985-2001) sind die Häufigkeiten in den einzelnen Unfallklassen und damit auch die Teststärke (die Wahrscheinlichkeit, einen Unterschied zu entdecken, wenn er in der Population existiert) sehr gering. Dies könnte ebenfalls ein Grund dafür sein, dass kein Unterschied zwischen den Spiegeltypen gefunden wurde.

Aus den Unfallanalysen der Medizinischen Hochschule Hannover kann daher keine positive oder negative Schlussfolgerung in Bezug auf die Ver-

kehrssicherheitsaspekte teilasphärischer Außenspiegel gezogen werden. In dem beobachteten Zeitraum war jedenfalls in der Gesamtheit keine auffällige Erhöhung der Unfallzahlen in den relevanten Kategorien zu beobachten. Ein schädlicher Einfluss teilasphärischer Spiegel ist daher nicht zu erwarten. In diesem Zusammenhang sei noch angemerkt, dass BOCKELMANN (1990) [5] eine Untersuchung der Medizinischen Hochschule Hannover erwähnt, die zeigen konnte, dass 1 % aller Unfälle durch mangelnde indirekte Sicht verursacht wird.

In der bisherigen Literatur zu Unfallanalysen (LUOMA et al., 1995 [59]; SCHUMANN et al., 1998 [76]) gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Spiegeltypen (s. hierzu auch Kapitel 5.3). Es fanden sich jedoch tendenzielle Vorteile für die gekrümmten Spiegel (insbesondere teilasphärische Spiegel wurden hervorgehoben).

Recherchen in den Verkehrsunfallstatistiken des Statistischen Bundesamtes waren leider ebenfalls erfolglos, da die Datenbasis auf polizeilich festgestellten Ursachen von Straßenverkehrsunfällen basiert. Die erfassten Ursachen sind zu unpräzise, um daraus eine korrelative oder gar kausale Beziehung zum verwendeten Spiegeltyp ableiten zu können. Eine Erhebung des Spiegeltyps ist in den Verkehrsunfallanzeigen gar nicht vorgesehen. Außerdem werden in den Statistiken nur Unfälle erfasst, zu denen die Polizei herangezogen wurde.

In den Unfallanalysen sind derzeit keinerlei Indizien für eine Erhöhung der Unfallzahlen durch teilasphärische Außenspiegel erkennbar. Eine Veränderung dieses Sachverhaltes in der Zukunft ist aufgrund der vorliegenden Daten nicht zu erwarten.

Insgesamt ergaben die Ergebnisse der durchgeführten Experimente, dass sich die Distanzschätzungen mit sphärischen und asphärischen Spiegeln nicht unterscheiden haben (Experiment 1) und die Kollisionszeitpunkte mit dem teilasphärischen Spiegel um 48,26 % unterschätzt wurden. Damit lagen die Schätzungen numerisch zwischen denen mit planen Spiegeln (größte Unterschätzung, am sichersten) und sphärischen Spiegeln (kleinste Unterschätzung) (Experiment 2). Es zeigte sich außerdem keine Erhöhung der Reaktionszeiten durch die Verwendung des teilasphärischen Spiegels, dafür wurden jedoch weniger Fehler bei der Objekterkennung gemacht (Experiment 3).

Es gibt also viele Argumente, die für den Einsatz teilasphärischer Spiegel sprechen, aber nur wenige negative Aspekte, wie z. B. die möglichen Schwierigkeiten bei der Umstellung von teilasphärischen zurück zu sphärischen Außenspiegeln oder die Unwissenheit vieler Verkehrsteilnehmer über die Eigenschaften ihrer Spiegel, die gegen die Verwendung teilasphärischer Spiegel hervorgebracht werden können.

Mit Ausnahme von Experiment 3 (teilweise Regen) wurden keine Versuche unter sehr schlechten Witterungsbedingungen gemacht. Es fehlen daher weiter gehende Befunde zur Wahrnehmungsqualität bei eingeschränkter Sicht (z. B. durch verschmutzte oder vereiste Spiegel). Unter den regnerischen Bedingungen des dritten Experiments ließen sich jedoch keine nachteiligen Effekte im Sinne einer besonders stark verminderten Abbildungsqualität bei teilasphärischen Spiegeln beobachten. Es wurden ebenfalls keine Simulationen durchgeführt, die auf die unterschiedlichen Sichtverhältnisse bei Tag und Nacht eingegangen sind. Dieser Aspekt wurde nicht untersucht, da in der bisherigen Literatur (vgl. z. B. MCINTYRE et al., 1995 [62]; BURGER, MULHOLLAND, SMITH, SHARKEY & BARDALES, 1980 [12]; FLANNAGAN, SIVAK, SCHUMANN et al., 1997 [43]; MORROW & SALIK, 1962a [64]; MORTIMER & JORGESON, 1974 [66]) keine Unterschiede in Bezug auf Distanzschätzung und Blendwirkung entdeckt werden konnten (siehe hierzu auch Kapitel 5.3). Die Blendwirkung scheint bei konvexen Spiegeln teilweise sogar geringer zu sein. Bisher wurden in der Literatur jedoch hauptsächlich sphärische mit planen Spiegeln verglichen, wir erwarten auf der Grundlage bestehender Befunde jedoch auch keinen gravierenden negativen Einfluss des asphärischen Teilspiegels.

Die optischen Verzerrungen im asphärischen Bereich scheinen auch deswegen keinen gravierenden Einfluss auf die Verkehrssicherheit zu haben, weil eine Spurwechsel-Entscheidung im Sinne eines „go or no-go“ auch möglich ist, wenn ein Objekt nicht in allen Einzelheiten zu erkennen ist. Bei Unsicherheiten oder unklaren Sichtverhältnissen kann zusätzlich immer noch der plane Innenspiegel zur Entscheidung mit herangezogen werden. Dies wird in der Literatur häufig empfohlen. In den ersten beiden Experimenten des vorliegenden Projekts, in denen nur der asphärische Teil des teilasphärischen Spiegels verwendet wurde, zeigte sich, dass die Verzerrungen keinen großen Einfluss auf

die Distanzschätzungen hatten. Ein Grund hierfür könnten das größere Sichtfeld und damit auch die vermehrten Hinweisreize der Umgebung sein, die sich vorteilhaft ausgewirkt haben. Selbst wenn also nur der asphärische Teil des Spiegels zur Verfügung steht, werden daher keine ausgeprägten Nachteile für die Verkehrssicherheit erwartet.

Weitere Vorteile des teilasphärischen Spiegels ergeben sich daraus, dass der Spiegel kleiner sein kann, um das gleiche Sichtfeld wie ein sphärischer oder planer Spiegel zu realisieren. Bei gleich großem Spiegelgehäuse bietet der teilasphärische Spiegel also ein beträchtlich größeres Sichtfeld. Außerdem können durch das größere Sichtfeld Fehleinstellungen des Spiegels (wie bei LANG, 2004 [58] beschrieben) besser kompensiert werden. Ein hoher Prozentsatz der Fahrzeugführer scheint seinen Außenspiegel sehr weit bzw. zu weit in Richtung des eigenen Fahrzeugs eingestellt zu haben. Das eingeschränkte Sichtfeld sphärischer und planer Spiegel wird dadurch noch weiter verkleinert. Die Verwendung teilasphärischer Spiegel führt dazu, dass selbst unter Beibehaltung dieser Fehleinstellung ein größeres Sichtfeld zur Verfügung steht. Dies stellt einen eindeutigen Sicherheitsgewinn dar. Ein ausreichendes Sichtfeld bleibt damit, trotz Fehleinstellung in Richtung des eigenen Fahrzeugs, erhalten. Was einer bestmöglichen Nutzung der teilasphärischen Spiegel im Wege stehen kann – auch bei ‚guter‘ Spiegeleinstellung –, ist das Spiegelgehäuse, das gerade bei diesem Spiegeltyp in Kombination mit groß gewachsenen Personen (Spiegel wird weiter nach außen gestellt) oft zu Sichteinschränkungen führt (vgl. Kapitel 3.1.3).

Die im Rahmen dieses Forschungsprojekts erhobenen Daten zeigen, dass ein quantitativer Zugesinn an rückwärtiger Sicht, auch wenn er mit einer stärkeren Verzerrung und Verkleinerung von Objekten verbunden ist, weniger gravierende negative Auswirkungen hat als ein kleines rückwärtiges Sichtfeld bei verbesserter Qualität der Sicht (vgl. Experiment 3). Schon FLANNAGAN et al. (1999) [41] konnten zeigen, dass Versuchspersonen auch mit Hilfe des peripheren direkten Sichtfelds in der Lage waren, Fahrzeuge zu entdecken. Dies war jedoch mit längeren Reaktionszeiten verbunden. Es erscheint daher sinnvoll, das Sichtfeld mit Hilfe teilasphärischer Spiegel zu vergrößern. Dadurch wäre man nicht mehr so stark auf das periphere Sichtfeld angewiesen.

Experimentell gestützte Aussagen über den Einsatz teilasphärischer Spiegel an Lkw und Bussen können zum jetzigen Zeitpunkt nicht gemacht werden. Da teilasphärische Spiegel bei Lkw derzeit nur vereinzelt im Einsatz sind, bestand keine Möglichkeit, Versuche durchzuführen, die sphärische und teilasphärische Spiegel an Lkw miteinander vergleichen. Eine ausführliche Untersuchung zum Einsatz von Außenspiegeln an Lkw gibt ein Bericht der DEKRA im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen [69], der sich ausschließlich auf die Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern durch rechts abbiegende Lkw bezieht. Die Gefährdung wird dadurch hervorgerufen, dass der in erhöhter Position sitzende Fahrer eine unzureichende direkte und indirekte Sicht in den rechten Nahbereich des Fahrzeuges hat und so ungeschützte Verkehrsteilnehmer beim Abbiegen übersehen kann. Die in der Untersuchung berücksichtigten Spiegel (nur rechtsseitig) sind der Hauptaußenspiegel (Gruppe II), Weitwinkelaußenspiegel (Gruppe IV) und Rampenspiegel (Gruppe V) (vgl. Kapitel 2.2.1), die jeweils sphärisch konvex ausgeführt sind. Teilasphärische Spiegel wurden in der Untersuchung nicht mit berücksichtigt. Unter der Vielzahl von Maßnahmenvorschlägen wird neben einer veränderten Anordnung der Spiegel auch der Einsatz von Fahrerassistenzsystemen angesprochen (MAN-Abbiegeassistent, vgl. Kapitel 1.3), die auch zur Behebung der Toten-Winkel-Problematik bei Pkw zum Einsatz kommen können.

In Bezug auf die Beurteilung von teilasphärischen Spiegeln an Krafträdern sei auf die Arbeit von van de SAND et al. (2001) [83] verwiesen, die eine Verbesserung des äußeren Sichtwinkels durch teilasphärische Spiegel nachweisen konnten. Eine Eingewöhnung war jedoch nötig und eine durch die Verzerrungen bedingte etwas schlechtere Abbildungsqualität war teilweise feststellbar. Der Einsatz teilasphärischer Spiegel wird als möglich angesehen, die gesetzlich erforderlichen Sichtbereiche sollten allerdings bereits durch den sphärischen Teil des Spiegels erfüllt werden. Die Vorteile teilasphärischer Spiegel werden von den Autoren hauptsächlich bei hohen Geschwindigkeiten auf Autobahnen gesehen, da hier der einsehbare Bereich deutlich vergrößert wird und Kopfdrehungen reduziert werden können. Ein Verzicht auf den Schulterblick wird jedoch abgelehnt. Im Stadtverkehr war gemäß den Autoren kein Vorteil teilasphärischer Spiegel erkennbar.

Wie schon weiter oben angedeutet wurde, könnte der Wechsel von einem teilasphärischen zu einem planen oder sphärischen Außenspiegel möglicherweise größere negative Auswirkungen als der umgekehrte Fall haben. Die Gründe für diese Hypothese sind folgende: Nach einer gewissen Zeit der Nutzung hat man sich an das große Sichtfeld teilasphärischer Spiegel gewöhnt. Wenn man im Außenspiegel kein Objekt sieht, kann man sich also sicher sein, dass sich dort auch niemand befindet. Man wechselt daher die Spur. Es besteht nun jedoch die Gefahr, dass einige Fahrzeugführer das gebotene große Sichtfeld für selbstverständlich halten und ihr Verhalten (z. B. reduzierte Verwendung des Schulterblicks) auch bei Spiegeln mit eingeschränktem Sichtfeld beibehalten. Die eingeschränkte Verwendung des Schulterblicks hat zwar beim teilasphärischen Spiegel weniger sicherheitsrelevante Auswirkungen, beim Wechsel auf ein Fahrzeug mit sphärischem oder planem Spiegel mit ihrem kleineren Sichtfeld fehlt jedoch ein wichtiges und notwendiges Sicherheitsverhalten. Durch diese mangelhafte Anpassung des Verhaltens an das verfügbare Sichtfeld könnten Unfälle entstehen.

Daher sollte vor allem dort, wo Fahrzeuge verkauft, gewechselt oder getauscht werden (Autohändler, Fahrzeugvermietung usw.) verstärkt auf den jeweiligen Spiegeltyp und die damit verbundenen Eigenschaften eingegangen werden. Eine besondere Betonung der Notwendigkeit eines Schulterblicks zur Überwindung bzw. Minimierung des toten Winkels bei planen und sphärischen Spiegeln erscheint ebenfalls wichtig.

Obwohl der Schulterblick auch Nachteile hat, da der Blick von der Straße abgewendet werden muss und dadurch die Gefahr von Auffahrunfällen erhöht wird, sollte bei keinem Spiegeltyp gänzlich auf seine Nutzung verzichtet werden. Er scheint bei teilasphärischen Spiegeln an Pkw im fließenden Verkehr auf Landstraßen und auf Autobahnen eigentlich unnötig zu sein, da kein toter Winkel mehr existiert. Dies wird in einigen Veröffentlichungen auch als großer Vorteil teilasphärischer Spiegel hervorgehoben. Experiment 3 hat jedoch gezeigt, dass in den Tote-Winkel-Positionen selbst mit dem teilasphärischen Spiegel noch Fehler beim Erkennen von Objekten gemacht wurden. Daher sollte der Schulterblick als Möglichkeit der letzten Absicherung grundsätzlich beibehalten werden.

7.2 Empfehlungen

Die durchgeführten Untersuchungen haben in Übereinstimmung mit der bestehenden, im Rahmen dieses Projekts ausführlich dokumentierten Literatur gezeigt, dass der Einsatz teilasphärischer Spiegel positive Auswirkungen auf das Unfallgeschehen haben kann. Im Vergleich zu planen und sphärischen Außenspiegeln konnten weder die Experimente noch die Unfallanalysen negative Auswirkungen teilasphärischer Spiegel feststellen. Eine gesetzlich vorgeschriebene Ausrüstung von Pkw mit teilasphärischen Spiegeln würde sich nach Meinung der Autoren daher empfehlen. Insbesondere die Vorteile bei der Vergrößerung des rückwärtigen Sichtfeldes sowie die verbesserten Möglichkeiten der Kompensation von Fehleinstellungen des Spiegels durch den Benutzer haben uns bewogen, teilasphärische Außenspiegel zu empfehlen. Wichtig erschien uns, dass teilasphärische Spiegel eindeutige Vorteile gegenüber den anderen Spiegeltypen aufweisen, da sonst keine Notwendigkeit bestünde, die etablierten planen und sphärischen Spiegeltypen zu ersetzen. Die in Kapitel 5.2 ausgeführte Argumentation von de VOS (2000) [85] und de VOS et al. (2001) [86] zum Thema Vermeidbarkeit von Unfällen scheint uns in diesem Zusammenhang recht überzeugend und wird deshalb an dieser Stelle noch einmal kurz wiederholt. Mit teilasphärischen Spiegeln werden im Vergleich zum planen Spiegel etwas kleinere Lücken akzeptiert, dafür wird der tote Winkel minimiert. Diese beiden Aspekte gilt es gegeneinander abzuwägen. Hier ist der Aspekt der Kontrollierbarkeit durch den mit dem Fehlverhalten konfrontierten Fahrer von Bedeutung. Die gefährliche Situation kann von diesem Fahrer jedoch kaum noch vermieden werden, wenn er sich schon im toten Winkel, also sehr nah am anderen Fahrzeug befindet. Der von hinten kommende Fahrer kann die Situation besser kontrollieren, wenn er noch weiter entfernt ist. Eine Verbesserung der Sicht im toten Winkel sollte daher wichtiger sein als der Nachteil der Verkleinerung der akzeptierten Lücken beim Spurwechsel. Teilasphärische Spiegel stellen daher einen Sicherheitsgewinn dar.

Obwohl die Auge-Spiegel-Distanz bei konvexen Spiegeln einen Einfluss auf die Fähigkeit zu Distanzschätzungen zu haben scheint (vgl. z. B. FLANNAGAN, SIVAK, SCHUMANN et al. (1997) [43] und Kapitel 5.1), empfiehlt BOCKELMANN (1990 [5]; 1991 [6]) den beidseitigen Einsatz teilasphärischer

Spiegel. Er begründet dies damit, dass ansonsten die Bilder aus drei verschiedenen geformten Spiegeln (Fahrerseite: teilasphärisch, Innenspiegel: plan, rechter Außenspiegel: sphärisch) interpretiert werden müssten. Die vorliegenden Daten aus Experimenten und Unfallanalysen lassen keine verkehrsrelevanten Nachteile einer beidseitigen Verwendung teilasphärischer Spiegel erkennen.

Beim Einsatz teilasphärischer Spiegel gilt es jedoch, einige Punkte zu beachten. So ergab eine Überprüfung der Spiegelgehäuse, dass der teilasphärische Spiegel teilweise zu weit im Gehäuse sitzt, sodass ein Teil des größeren Sichtfeldes nicht nutzbar ist (vgl. 3.1.3, 28,0° Sichtwinkel mit Reduzierung zu 34,6° ohne Reduzierung). Dies wurde schon von BOCKELMANN (1990) [5] bemängelt und auch von der Bundesvereinigung der Fahrlehrerverbände e. V. in ihrer Stellungnahme vom 4.2.2004 kritisiert.

Bei der Einführung der neuen EU-Richtlinie sollte außerdem darauf geachtet werden, dass die Verkehrsteilnehmer die Risiken und Vorteile der einzelnen Spiegelsysteme kennen. Die Befragungen der Versuchspersonen im Rahmen der durchgeführten Experimente haben nämlich literaturkonform (z. B. MORTIMER & JORGESON, 1974 [66]; de VOS et al., 1999 [87]; de VOS, 2000 [85]) gezeigt, dass die wenigsten Fahrzeugführer ihren Spiegeltyp und seine optischen Eigenschaften kannten. Daher ist unsere Empfehlung, dass verstärkt über die verschiedenen Spiegel informiert wird, z. B. bei der Ausbildung in Fahrschulen, bei Nachschulungen, durch ausführliche Darstellungen in Betriebsanleitungen, bei Miet- und Leihwagen usw., sodass die Verkehrsteilnehmer für die Eigenschaften und Auswirkungen der verschiedenen Spiegeltypen sensibilisiert werden. Auch der Bundesvorsitzende der Fahrlehrerverbände e. V. merkt in seiner Stellungnahme vom 4.2.2004 an, dass die Gewöhnung an die Darstellungsform der einzelnen Spiegel einer gewissen Anpassungszeit bedarf, wenn mit mehreren Fahrzeugen mit unterschiedlichen Spiegeltypen gefahren wird.

Eine Ausweitung der Empfehlung auf Lkw und Busse erscheint uns derzeit noch verfrüht, hier gilt es, weitere Untersuchungen abzuwarten. Vorschläge für weitere Untersuchungen werden in Kapitel 7.3 unterbreitet. In Bezug auf Lkw können jedoch, vorbehaltlich einer experimentellen Überprüfung, einige Argumente für den Einsatz teilasphärischer

Spiegel geliefert werden. So sind nach der neuen EU-Richtlinie 2003/97/EG auf der Fahrerseite zwei Spiegel vorgesehen, ein Weitwinkelspiegel und ein Hauptaußenspiegel. Jeder Spiegel hat dabei eine andere Funktion, der eine wird meistens zur Beobachtung des Verkehrs herangezogen, während der andere eher für das Rangieren verwendet wird. Der Einsatz von mehreren Spiegeln ist jedoch grundsätzlich mit einigen Nachteilen verbunden. Zum einen ist die Sichtverdeckung nach vorne bei zwei Spiegeln größer. Sie könnte durch den Einsatz eines teilasphärischen Spiegels, der beide Außenspiegel ersetzt, vermindert werden. Ein teilasphärischer Spiegel kann kleiner sein als ein sphärischer Spiegel, um das gleiche Sichtfeld zu erzeugen. Dies hat einen verminderten Luftwiderstand und geringere Vibrationen zur Folge. Zum anderen sollte es einfacher sein, das Bild eines teilasphärischen Spiegels zu interpretieren, als sich aus zwei Spiegeln die erforderlichen Informationen suchen zu müssen. Die Nachteile von Doppelspiegeleinrichtungen an Lkw und Bussen werden auch von der Bundesvereinigung der Fahrlehrerverbände e. V. in ihrer Stellungnahme vom 4.2.2004 gesehen. Sie sieht insbesondere eine mögliche Verwirrung des Fahrers sowie die große Windangriffsfläche als kritisch an. Es erscheint uns daher sinnvoll, teilasphärische Außenspiegel auch bei Lkw und Bussen in Betracht zu ziehen.

Der Einsatz teilasphärischer Spiegel an Krafträdern erscheint uns unproblematisch, die von van de SAND et al. (2001) [83] gemachten Einschränkungen gilt es jedoch zu beachten.

In den letzten Jahren wurden verstärkt Fahrerassistenzsysteme entwickelt. Diesem Bereich soll der letzte Abschnitt dieses Unterkapitels gewidmet sein. Es stellt sich die Frage, inwieweit Fahrerassistenzsysteme Spiegel an Fahrzeugen ersetzen oder ergänzen können. Die Forschung zu diesem Thema ist noch im Aufbau (kamerabasierte Systeme für das rückwärtige Sichtfeld z. B. FLANNAGAN et al., 2002 [38]; FLANNAGAN, SIVAK, & SIMPSON, 2001 [44]; FLANNAGAN & SIVAK, 2003 [36]; Spurwechselassistenten z. B. FASTENMEIER, HINDERER, LEHNIG & GSTALTER, 2001 [29]; FASTENMEIER, GSTALTER & ZAHN, 2001 [28]), gesicherte Befunde liegen unseres Erachtens noch nicht vor. FASTENMEIER, HINDERER et al. (2001) [29] betonen in ihrer Schlussfolgerung zu Spurwechselassistentensystemen, dass verbesserte aktive Sicherheitssysteme (wie z. B. eine bessere Rundumsicht) zu einer Reduzierung von Fehlverhalten

beitragen können. Sie sehen den Einsatzbereich von Spurwechselassistenten mittelfristig lediglich im Bereich von Autobahnfahrten. Aber selbst in diesem eingeschränkten Einsatzbereich sind noch einige offene Fragen zu klären. So ist weder die Frage nach der Art der Warnung (z. B. optisch, haptisch oder akustisch) geklärt noch besteht Einigkeit über die Bestimmung der Schwelle, ab der eine Warnung erfolgen soll. Das zentrale Problem liegt nach Ansicht der Autoren jedoch darin, dass das System eine Spurwechselabsicht erkennen muss. Valide Indikatoren hierzu liegen derzeit nicht vor. Die Autoren sehen daher viel versprechendere Ansätze darin, Lösungen zu entwickeln, die die Fahrer mit zusätzlichen und/oder verbesserten Informationen versorgen und aufmerksamkeitslenkend wirken, sodass eine Unterstützung von Spurwechselentscheidungen ermöglicht wird.

Auch die Bundesvereinigung der Fahrlehrerverbände e. V. zeigt in ihrer Stellungnahme vom 4.2.2004 klar die Vorteile moderner Videosysteme auf, weist gleichzeitig jedoch auf Schwachpunkte hin. So müssen auch Aspekte wie die Gefahr der Verschmutzung solcher Systeme berücksichtigt und angemessene Lösungen hierfür entwickelt werden.

Grundsätzlich bedürfen alle neuen Konzepte einer gründlichen empirischen Prüfung (auch in realen Verkehrsgeschehen), die Überprüfung der Zuverlässigkeit sollte hierbei nicht vernachlässigt werden.

Unsere Vorschläge lauten daher zusammengefasst:

- Wir empfehlen die Verwendung teilasphärischer Außenspiegel bei Pkw, weil sie das Sichtfeld vergrößern, Fehleinstellungen des Spiegels kompensiert und Unfälle vermieden werden können. Weder Unfallanalysen noch Experimente zeigen verkehrsrelevante Nachteile im Vergleich zu planen oder sphärischen Spiegeln.
- In Bezug auf Krafträder können teilasphärische Spiegel ebenfalls empfohlen werden, bei Lkw und Bussen können sie als Alternative in Betracht gezogen werden, dies bedarf jedoch weiterer Untersuchungen.
- Ob Fahrerassistenzsysteme oder Videosysteme als Alternative oder Ergänzung zu Spiegeln eingesetzt werden sollten, bedarf ebenfalls weiterer Untersuchungen.

- Verkehrsteilnehmer sollten besser über die Eigenschaften der verschiedenen Spiegeltypen (Verkleinerung bei konvexen Spiegeln bzw. Verzerrung des Bildes bei asphärischen Spiegeln) informiert werden.
- Verkehrsteilnehmer sollten verstärkt darüber informiert werden, wie wichtig eine richtige Spiegeleinstellung ist.

7.3 Vorschläge für weitere Untersuchungen

Neben dem gesamten Bereich der Fahrerassistenzsysteme ist die Wahrnehmungsqualität teilasphärischer Außenspiegel an Lkw und Bussen bisher nicht ausreichend untersucht worden. In Bezug auf Lkw und Busse sollten daher experimentelle Versuchsanordnungen realisiert werden, die die derzeit üblichen verschiedenen sphärischen Spiegel mit teilasphärischen Spiegeln unter verschiedenen Bedingungen vergleichen. Nur so können die Vor- und Nachteile der beiden Spiegelsysteme abgeschätzt werden.

Eine weitere interessante Fragestellung betrifft die Auswirkungen von Stress auf die Wahrnehmung. Unter normalen Bedingungen zeigten sich mit teilasphärischen Spiegeln keine negativen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit, ob dies jedoch auch unter Stress gilt, ist noch nicht untersucht worden. Unter normalen Umständen sind die Verkehrsteilnehmer in der Lage, ihr Verhalten so anzupassen, dass sie trotz der verkleinerten Abbilder in teilasphärischen Spiegeln angemessen reagieren. In Notfallsituationen, also in Situationen, in denen schnelle Entscheidungen gefordert sind, könnte es passieren, dass die Informationen des Spiegels als real und unverzerrt interpretiert werden. Dies hätte unter Umständen negative Auswirkungen auf das Verkehrsgeschehen.

Die Auswirkungen der Auge-Spiegel-Distanz auf die Wahrnehmungsqualität sollte in gesonderten Experimenten untersucht werden. Obwohl keine nachteiligen Effekte durch die Verwendung teilasphärischer Spiegel entdeckt werden konnten, scheint der Abstand zwischen Auge und Spiegel (und somit auch die Verwendung von gekrümmten Spiegeln auf Fahrer- und Beifahrerseite) einen Einfluss auf die Distanzschätzungen zu haben. So konnten FLANNAGAN, SIVAK, SCHUMANN et al. (1997) [43] zeigen, dass eine

Verdoppelung der Distanzen (Fahrer- im Vergleich zur Beifahrerseite) eine doppelt so große Überschätzung der Distanzen zur Folge hatte. Dies stellt im Straßenverkehr ein gefährliches Verhalten dar.

Weitere Vorschläge für zukünftige Forschungsvorhaben finden sich auch bei FLANNAGAN & SIVAK (1996) [35].

8 Fahrzeugkategorien und Sichtfelder

8.1 Fahrzeugkategorien nach ECE

Die Begriffsbestimmungen für Fahrzeugklassen und Fahrzeugtypen der ECE stimmen nahezu mit denen der EG überein. Abweichungen gibt es momentan noch bei den zwei und dreirädrigen Kraftfahrzeugen, die im Zuge der Angleichung ausgelöscht werden.

Klasse L:
Kraftfahrzeuge mit weniger als vier Rädern.

Klasse L₁:
Zweirädrige Fahrzeuge, deren Hubraum 50 cm³ und deren durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit 50 km/h nicht übersteigen.

Klasse L₂:
Dreirädrige Fahrzeuge, deren Hubraum 50 cm³ und deren durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit 50 km/h nicht übersteigen.

Klasse L₃:
Zweirädrige Fahrzeuge, deren Hubraum 50 cm³ und deren durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit 50 km/h nicht übersteigen.

Klasse L₄:
Dreirädrige Fahrzeuge mit Rädern, die zur Fahrzeuglängsachse asymmetrisch angebracht sind, deren Hubraum 50 cm³ oder deren durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit 50 km/h nicht übersteigt

Klasse L₅:
Dreirädrige Fahrzeuge mit Rädern, die zur Fahrzeuglängsachse asymmetrisch angebracht sind, deren Gesamtgewicht 1.000 kg nicht überschreitet und deren Hubraum 50 cm³ oder deren durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit 50 km/h nicht übersteigt.

Klasse M:

Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung mit mindestens vier Rädern.

Klasse M₁:

Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit höchstens acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz.

Klasse M₂:

Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 5 Tonnen.

Klasse M₃:

Fahrzeuge zur Personenbeförderung mit mehr als acht Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 5 Tonnen.

Klasse N:

Kraftfahrzeuge zur Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern.

Klasse N₁:

Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse bis zu 3,5 Tonnen.

Klasse N₂:

Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 3,5 Tonnen bis zu 12 Tonnen.

Klasse N₃:

Fahrzeuge zur Güterbeförderung mit einer zulässigen Gesamtmasse von mehr als 12 Tonnen.

(Bei Zugfahrzeugen muss die maximale Stützlast hinzugerechnet werden)

Auf die die Klassen O (Anhänger), T (land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen) wird nicht näher eingegangen, da sie für diese Untersuchung keine Rolle spielen. In die Klasse G (Geländewagen) fallen Fahrzeuge der Klassen M und N, wenn sie bestimmte Bedingungen einhalten (bez. Bodenfreiheit, Allradantrieb etc.), für die in einigen Richtlinien zusätzliche Anforderungen stehen.

8.2 Fahrzeugkategorien nach FMVSS

Diese Fahrzeugkategorien gelten ebenfalls für die kanadischen Standards.

Personenwagen (passenger vehicle):

Kraftfahrzeug zur Beförderung von bis zu zehn Personen.

Mehrzweck-Personenwagen (multipurpose passenger vehicle):

Kraftfahrzeug zur Beförderung von bis zu zehn Personen auf Basis eines Lkw (truck).

Lastwagen (truck):

Kraftfahrzeug zur Beförderung von Eigentum und Gütern.

Bus (bus):

Kraftfahrzeug zur Beförderung von mehr als zehn Personen.

Schulbus (school bus):

Kraftfahrzeug, das ausschließlich zur Beförderung von Schülern und Studenten dient.

Motorrad (motorcycle):

Kraftfahrzeug mit einem Sitz oder Sattel für den Fahrer, bestimmt für Reisen mit nicht mehr als drei Rädern.

8.3 Sichtfelder

8.3.1 Nach 71/127/EWG

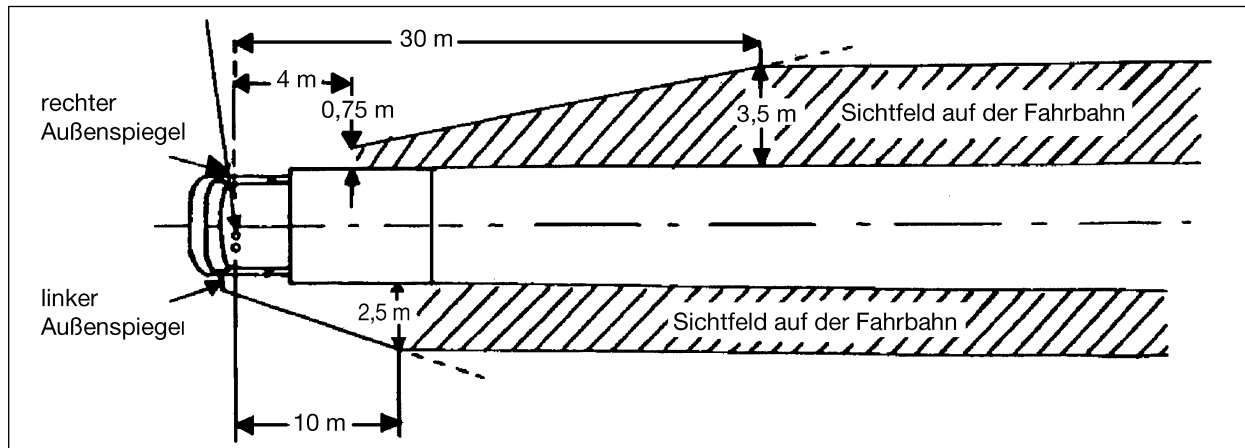


Bild 8.1: Mindestsichtfelder auf der Fahrbahn für Spiegel Gruppe II, vorgeschrieben für Fahrzeuge außer M_1 , N_1 , L [22]

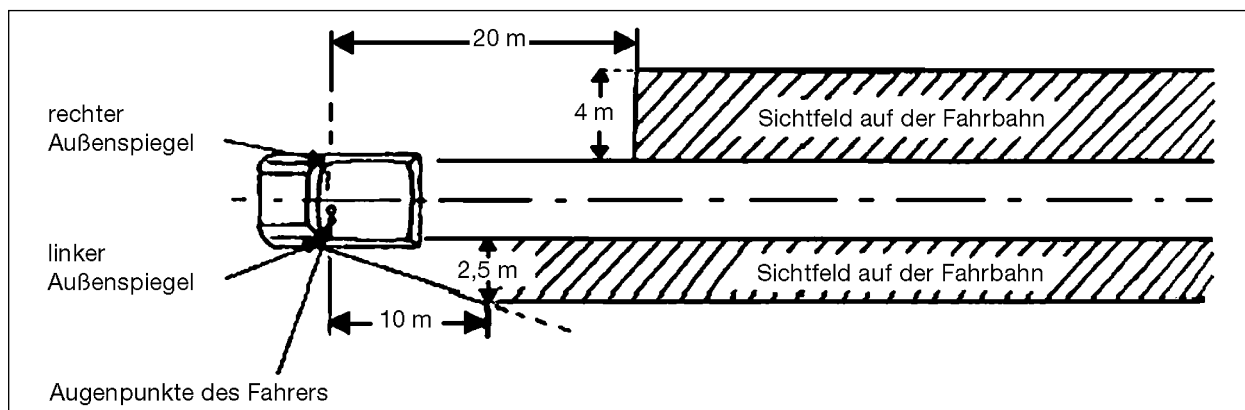


Bild 8.2: Mindestsichtfelder auf der Fahrbahn für Spiegel Gruppe III, vorgeschrieben für Fahrzeuge der Kategorie M_1 , N_1 , L [22]

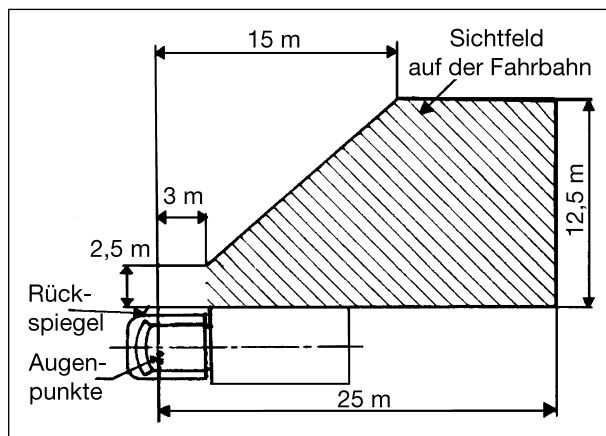


Bild 8.3: Mindestsichtfelder auf der Fahrbahn für Spiegel Gruppe IV, vorgeschrieben für Fahrzeuge $N_2 > 7,5$ t, N_3 [22]

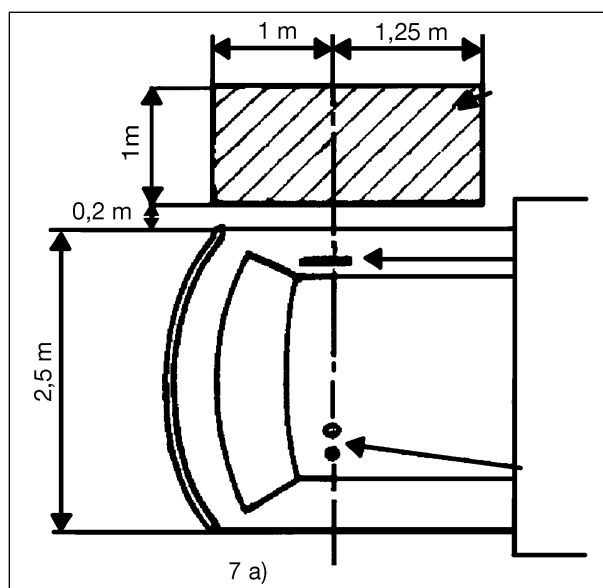


Bild 8.4: Mindestsichtfelder auf der Fahrbahn für Spiegel Gruppe V, vorgeschrieben für Fahrzeuge $N_2 > 7,5$ t, N_3 [22]

8.3.2 Nach 2003/97/EG

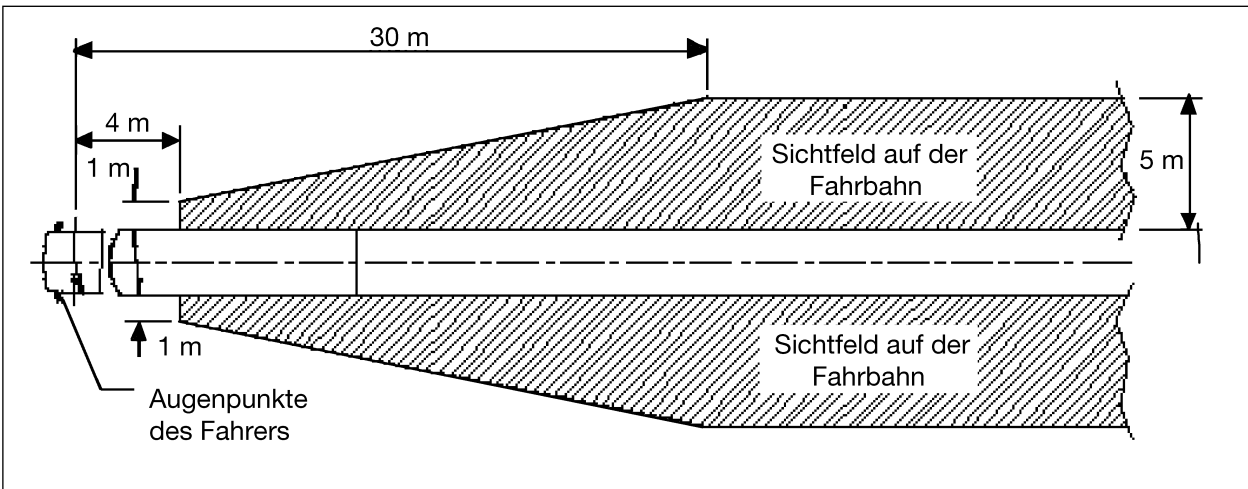


Bild 8.5: Mindestsichtfeld auf der Fahrbahn für Spiegel Gruppe II, vorgeschrieben für alle Fahrzeuge außer M_1 , N_1 [20]

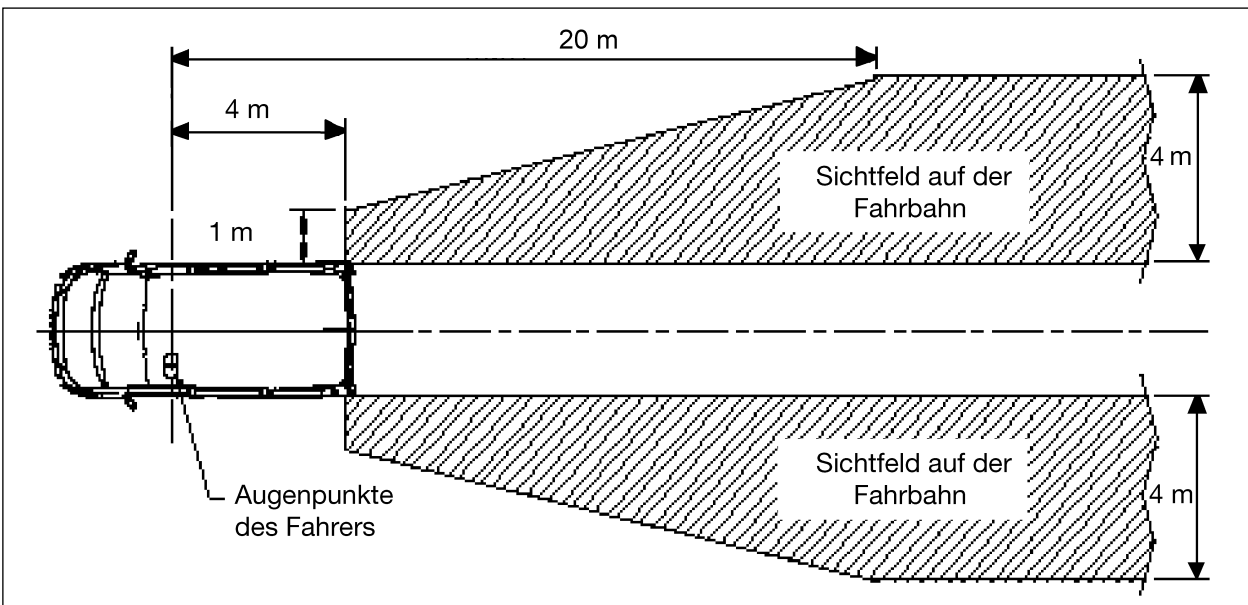


Bild 8.6: Mindestsichtfeld auf der Fahrbahn für Spiegel Gruppe III, vorgeschrieben für Fahrzeuge der Kategorie M_1 , N_1 [20]

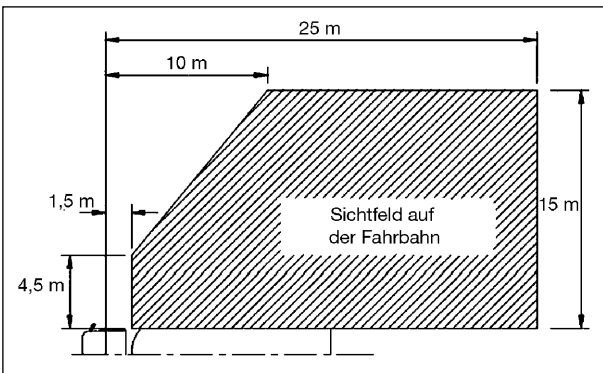


Bild 8.7: Mindestsichtfeld auf der Fahrbahn für Spiegel Gruppe IV, vorgeschrieben für Fahrzeuge $N_2 > 7,5$ t, N_3 , hier nur rechte Seite, linke Seite symmetrisch zur Fahrzeuglängsachse [20]

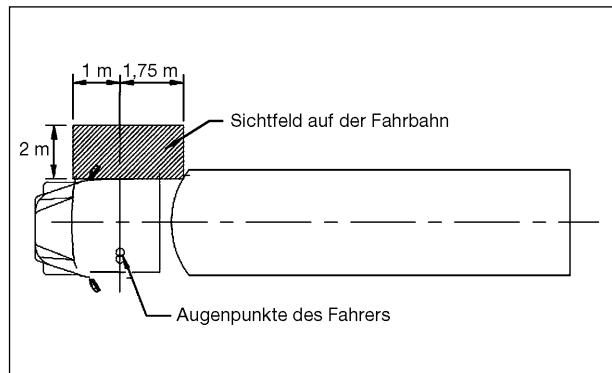


Bild 8.8: Mindestsichtfeld auf der Fahrbahn für Spiegel Gruppe V, vorgeschrieben für Fahrzeuge $N_2 > 7,5$ t, N_3 , nicht vorgeschrieben wenn Kombination der Sicht aus Gruppe IV und Gruppe VI Sichtfeld liefert [20]

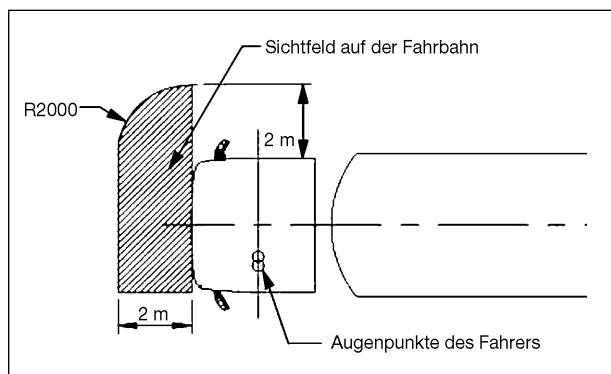


Bild 8.9: Mindestsichtfeld auf der Fahrbahn für Spiegel Gruppe VI, vorgeschrieben für Fahrzeuge $N_2 > 7,5$ t, N_3 , kann das Sichtfeld aufbaubedingt nicht erzielt werden, so müssen Kamera-Monitor-Systeme oder andere Systeme der indirekten Sicht zum Einsatz kommen [20]

8.3.3 Nach FMVSS 111

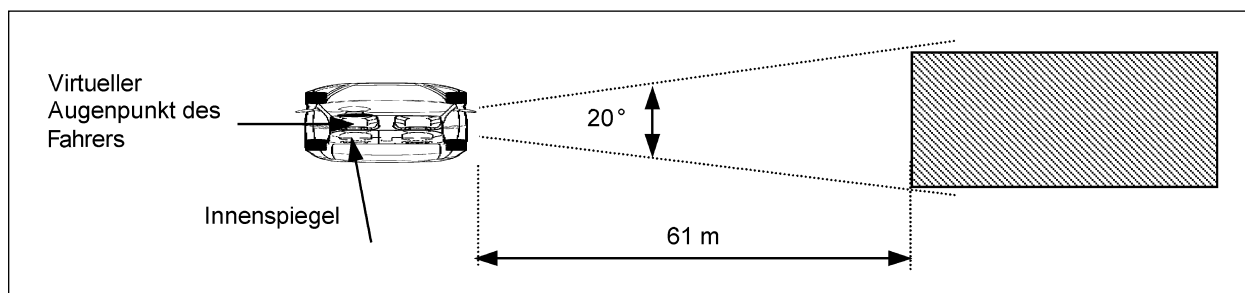


Bild 8.10: Mindestsichtfeld auf der Fahrbahn für Innenspiegel bei Personenkraftwagen [30]

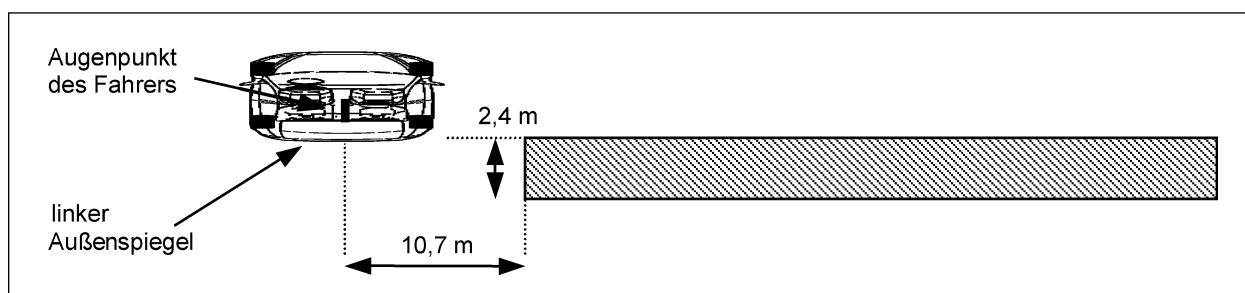


Bild 8.11: Mindestsichtfeld auf der Fahrbahn für Außenspiegel bei Personenkraftwagen [30]

9 Literatur

- [1] Australian Design Rule ADR (AU) (v. 1992) No. 14
- [2] ASIA PACIFIC ECONOMY COOPERATION (2002): Automotive Profile Australia
- [3] ASIA PACIFIC ECONOMY COOPERATION (1999): Automotive Profile Canada
- [4] ASIA PACIFIC ECONOMY COOPERATION (2002): Automotive Profile Korea
- [5] BOCKELMANN, W. D. (1990): Asphärische Rückblickspiegel – Verbesserung der Verkehrssicherheit. In: H. DERKUM (Hrsg.), Sicht und Sicherheit im Straßenverkehr: Beiträge zur interdisziplinären Diskussion, [Beiträge deutscher Referenten der 3. Internationalen Konferenz „Vision in Vehicles“, die im September 1989 in der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule in Aachen stattfand und von der Forschungsgemeinschaft Auto – Sicht – Sicherheit e. V. mitveranstaltet wurde] (S. 31-37). Köln: Verlag TÜV Rheinland
- [6] BOCKELMANN, W. D. (1991): Aspheric rearview mirrors enhancing the safety of drivers. In: A. G. GALE, I. D. BROWN, C. M. HASLE GRAVE, I. MOORHEAD & S. TAYLOR (Eds.), Vision in vehicles – III (pp. 399-408). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- [7] BOOTSMA, R. J. (1989): Accuracy of perceptual processes subserving different perception-action systems. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41 A (3), 489-500
- [8] BORTZ, J. (1993): Statistik für Sozialwissenschaftler. 4., vollständig überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag
- [9] BOWLES, T. S. (1969): Motorway overtaking with four types of exterior rear view mirror. In: International Symposium on Man-Machine Systems, Volume 2, Transport systems and vehicle control (IEEE Conference Record no. 69C58-MMS). Institute of Electrical and Electronic Engineers
- [10] Bundesministerium für Verkehr-, Bau- und Wohnungswesen (2004): Verkehr in Zahlen 2003/04. Hamburg: Deutscher Verkehrs-Verlag GmbH
- [11] BURGER, W. J., MULHOLLAND, M. U., SMITH, R. L. & SHARKEY, T. J. (1980): Passenger vehicle, light truck and van convex mirror optimization and evaluation studies: Vol. 1: Convex mirror optimization (DOT HS 805 695). Washington, D.C.: Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration
- [12] BURGER, W. J., MULHOLLAND, M. U., SMITH, R. L., SHARKEY, T. J. & BARDALES, M. C. (1980): Passenger vehicle, light truck and van convex mirror optimization and evaluation studies: Vol. 2: Evaluation of alternative mirror configurations (DOT HS 805 778). Washington, D.C.: Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration
- [13] CAIRD, J. K. & HANCOCK, P. A. (1992): Perception of oncoming vehicle time-to-arrival. *Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting-1992*. Santa Monica: Human Factors Society, 1378-1382
- [14] CARRUTHERS, G. F. (1966): Rear view mirrors. *British Journal of physiological optics*, 23 (2), 129-131
- [15] CAVALLO, V. & LAURENT, M. (1988): Visual information and skill level in time-to-collision estimation. *Perception*, 17, 623-632
- [16] CAVALLO, V., LAYA, O. & LAURENT, M. (1986): The estimation of time-to-collision as a function of visual stimulation. In: A. G. GALE, M. H. FREEMAN, C. M. HASLEGRAVE, P. SMITH, & S. P. TAYLOR (Eds.), Vision in vehicles. Amsterdam: North-Holland, 179-183
- [17] Canadian Motor Vehicle Safety Standard CMVSS (CA), (v. 1978) No. 111
- [18] CONNOLLY, P. C. (1964): Human Factors in rear vision. In Design aspects for rear vision in motor vehicles, SP-253 (pp. 1 – 17). New York: Society of Automotive Engineers
- [19] EG-Richtlinie (v. 17.06.1997) 97/24
- [20] EG-Richtlinie (v. 10.11.2003) 2003/97
- [21] EWG-Richtlinie (v.06.02.1970) 70/156
- [22] EWG-Richtlinie (v. 01.03.1971) 71/127
- [23] EWG-Richtlinie (v. 04.03.1974) 74/150
- [24] EWG-Richtlinie (v. 15.07.1974) 74/346

- [25] EWG-Richtlinie (v. 08.08.1987) 87/403
- [26] EWG-Richtlinie (v. 28.05.1988) 88/321
- [27] EWG-Richtlinie (v. 30.06.1992) 92/61
- [28] FASTENMEIER, W., GSTALTER, H. & ZAHN, P. (2001): Prospektive Risikopotenzialabschätzung am Beispiel der Spurwechsel-Assistenz. VDI-Berichte, 1613, 173-189
- [29] FASTENMEIER, W., HINDERER, J., LEHNIG, U. & GSTALTER, H. (2001): Analyse von Spurwechselvorgängen im Verkehr. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 55, 15-23
- [30] Federal Motor Vehicle Safety Standard FMVSS (US) (v. 1976), No. 111
- [31] FISHER, J. A. & GALER, I. A. R. (1984): The effects of decreasing the radius of curvature of convex external rear view mirrors upon drivers' judgements of vehicles approaching in the rearward visual field. Ergonomics, 27, 1209-1224
- [32] FLANNAGAN, C. A. C. & FLANNAGAN, M. J. (1998): Acceptance of nonplanar rearview mirrors by U.S. drivers. In: W. SHEN, R. VELD-MAN, A. M. VERTIZ & G. ZOBEL (Eds.), Human factors in driving, vehicle seating, and rear vision, SP-1358 (pp. 165-170). SAE Technical Paper Series Nr. 980919. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [33] FLANNAGAN, M. (1988): Human performance aspects of rearview mirrors: An applied-literature review (Report No. UMTRI 88-20). Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute
- [34] FLANNAGAN, M. J. & SIVAK, M. (1993): Indirect vision systems. In: B. PEACOCK & W. KARWOWSKI (Eds.), Automotive Ergonomics, (pp. 205-217). London: TAYLOR & FRANCIS
- [35] FLANNAGAN, M. J. & SIVAK, M. (1996): Workshop on rearview mirror human factors research needs: Summary of recommendations (Report No. UMTRI-96-27). Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute
- [36] FLANNAGAN, M. J. & SIVAK, M. (2003): Framing effects on distance perception in rear-vision displays. In: Lighting technology (pp. 33-39). SAE Technical Paper Series Nr. 2003-01-0298. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [37] FLANNAGAN, M. J. (2000): Current Status and future prospects for nonplanar rearview mirrors. In: Human factors in 2000 (pp. 165-174). SAE Technical Paper Series Nr. 2000-01-0324. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [38] FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M. & MEFFORD, M. L. (2002): Distance perception in camera-based rear vision systems. In: Advanced lighting technology for vehicles (pp. 13-20). SAE Technical Paper Series Nr. 2002-01-0012. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [39] FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M. & TRAUBE, E. C. (1996): Driver perceptual adaptation to nonplanar rearview mirrors. In: C. SERAFIN & G. ZOBEL (Eds.), Automotive design advancements in human factors: Improving drivers' comfort and performance, SP-1155 (pp. 213-220). SAE Technical Paper Series Nr. 960791. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [40] FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M. & TRAUBE, E. C. (1997): Effects of large-radius convex rearview mirrors on driver perception. In: New concepts in international automotive lighting technology, SP-1249 (pp. 175-181). SAE Technical Paper Series Nr. 970910. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [41] FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M. & TRAUBE, E. C. (1999): Quantifying the direct field of view when using driver-side rearview mirrors (SAE Technical Paper Series Nr. 1999-01-0656). Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [42] FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M., KOJIMA, S. & TRAUBE, E. C. (1998): A field study of distance perception with large-radius convex rearview mirrors. In: Human Factors in driving, vehicle seating, and rear vision, SP-1358 (pp. 139-146). SAE Technical Paper Series Nr. 980916. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [43] FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M., SCHUMANN, J., KOJIMA, S. & TRAUBE, E. C. (1997): Distance perception in driver-side and passen-

- ger-side convex rearview mirrors: Objects in mirror are more complicated than they appear (Report No. UMTRI-97-32). Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute
- [44] FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M. & SIMPSON, J. K. (2001): The role of binocular information for distance perception in rear-vision systems. In *Lighting technology developments for automobiles* (pp. 91-100). SAE Technical Paper Series Nr. 2001-01-0322. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [45] FOSBERRY, R. A. C. & MILLS, B. C. (1959): Measurement of driver visibility and its application to a visibility standard. *Proceedings/Institution of Mechanical Engineers, Automobile Division, No. 2*, 50-63
- [46] GARROTT, W. R. & KIGER, S. M. (1992): An ergonomic evaluation of school bus cross view mirror systems. SAE Technical Paper Series Nr. 920401. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [47] GRAY, R. & THORNTON, I. M. (2001): Exploring the link between time to collision and representational momentum. *Perception*, 30 (8), 1007-1022
- [48] GROEGER, J. A. & BROWN, I. D. (1988): Motion perception is not direct with indirect viewing systems. In A. G. GALE, M. H. FREEMAN, C. M. HASLEGRAVE, P. SMITH & S. P. TAYLOR (Eds.), *Vision in vehicles – II*. Amsterdam: North-Holland, 27-34
- [49] HAFERKORN, H. (1981): *Optik*. Frankfurt/M.: Harry Deutsch
- [50] HELMERS, G., FLANNAGAN, M. J., SIVAK, M., OWENS, D. A., BATTLE, D. A. & SATO, T. (1992): Response times using flat, convex, and multiradius rearview mirrors (Report No. UMTRI-92-20). Ann Arbor: The University of Michigan Transportation Research Institute
- [51] HENDERSON, R. L., SMITH, R. L., BURGER, W. J. & STERN, S. D. (1983): *Visibility from Motor Vehicles*. SAE Technical Paper Series Nr. 830564. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [52] HILLS, B. L. (1980): Vision, visibility, and perception in driving. *Perception*, 9, 183-216
- [53] HOFFMANN, E. R. & MORTIMER, R. G. (1994): Drivers' estimates of time to collision. *Accident Analysis and Prevention*, 26 (4), 511-520
- [54] JANI, S. N. & MENEZES, D. F. (1962): A comparison of seeing times using plane and convex mirrors. *British Journal of physiological optics*, 19, 103-109
- [55] KAEHN, C. H. (1975): Evaluation of two convex mirror systems by government drivers. SAE Technical Paper Series Nr. 750472. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [56] KAEHN, C. H. (1976): Evaluation of a new automotive plane and convex mirror system by government drivers. SAE Technical Paper Series Nr. 760006. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [57] KELLEY, C. R. & PROSIN, D. J. (1969): *Motor vehicle rear vision*. Santa Monica, California: Dunlap and Associates (NTIS No. PB 186228)
- [58] LANG, D. (2004): *Sicherheitsaspekte asphärischer Außenspiegel*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Fachhochschule Trier
- [59] LUOMA, J., SIVAK, M. & FLANNAGAN, M. J. (1995): Effects of driver-side mirror type on lane-change accidents. *Ergonomics*, 38, 1973-1978
- [60] MAGNA DONNELLY, Produktinformation (WWW-Seite). Internet: <http://magnadon.com/products/exteriorvision-systems/panoramic-visionssystem.asp> (Zugriff: 27.10.2004, 17.00 MEZ)
- [61] MAGNA DONNELLY, Produktinformation (WWW-Seite). Internet: <http://magnadon.com/products/exteriorvisionsystems/lane-chek.asp> (Zugriff: 27.10.2004, 17.15 MEZ)
- [62] MCINTYRE, A. E., MCCORD, R. C. & DALBY, G. (1995): Aspherical convex mirrors improve operator judgement in heavy commercial vehicles. SAE Technical Paper Series Nr. 952654. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [63] MCLEOD, R. W. & ROSS, H. E. (1983): Optic-flow and cognitive factors in time-to-collision estimates. *Perception*, 12, 417-423

- [64] MORROW, I. R. V. & SALIK, G. (1962a): Vision in rear view mirrors (part 1). *The Optician*, 144, 314-318
- [65] MORROW, I. R. V. & SALIK, G. (1962b): Vision in rear view mirrors (part 2). *The Optician*, 144, 340-344
- [66] MORTIMER, R. G. & JORGESON, C. M. (1974): Drivers' vision and performance with convex exterior rearview mirrors (SAE Technical Paper Series Nr. 740961). New York: Society of Automotive Engineers
- [67] MORTIMER, R. G. (1971): The effects of convex exterior mirrors on lane-changing and passing performance of drivers. SAE Technical Paper Series Nr. 710543. New York: Society of Automotive Engineers
- [68] NAUMANN, H., SCHRÖDER, G. (1987): Bauelemente der Optik, Hanser Verlag
- [69] NIEWÖHNER, W., BERG, F. A.: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw. Bericht der DEKRA für die Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F 54, 2004
- [70] OLSON, P. L. & POST, D. V. (1979): Considerations for rearview mirror systems for large trucks. (Report No. UM-HSRI-79-17). Ann Arbor: The University of Michigan Highway Safety Research Institute
- [71] PILHALL, S. (1981): Improved rearward view. SAE Technical Paper Series Nr. 810759. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [72] PLATZER, G. (1995): The geometry of automotive rearview mirrors – why blind zones exist and strategies to overcome them. In: Human factors in vehicle design: lighting, seating, and advanced electronics (pp. 143-156). SAE Technical Paper Series Nr. 950601. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [73] ROWLAND, G. E., SILVER, C. A., VOLINSKY, S. C., BEHRMAN, J. S., NICHOLS, N. F. & CLISHAN, W. J., Jr. (1970): A comparison of plane and convex rearview mirrors for passenger automobiles (Report No. FH-11-7382). Washington. D.C.: Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration.
- [74] SAND van de, A., SCHRÜLLKAMP, T., WALLENOWITZ, H. (2001): Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern, Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen
- [75] SCHIFF, W. & DETWILER, M. L. (1979): Information used in judging impending collision. *Perception*, 8, 647-658
- [76] SCHIFF, W. & OLDAK, R. (1990): Accuracy of judging time to arrival: Effects of modality, trajectory, and gender. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16 (2), 303-316
- [77] SCHUMANN, J., SIVAK, M. & FLANNAGAN, M. J. (1998): Are driver-side convex mirrors helpful or harmful? *International Journal of Vehicle Design*, 19 (1), 29-40
- [78] SMITH, R. L., BARDALES, M. C. & BURGER, W. J. (1978): Perceived Importance of Zones Surrounding a Vehicle and Learning to Use a Convex Mirror Effectively (Report No. DOT-HS-7-01791). Washington. D.C.: Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration
- [79] StVZO (i. d. F. v. 28.09.1988) § 30
- [80] StVZO (i. d. F. v. 28.09.1988) § 56
- [81] SUGIURA, D. & KIMURA, K. (1978): Outside rearview mirror requirements for passenger cars – curvature, size, and location. SAE Technical Paper Series Nr. 780339. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [82] Telefonat mit EMBERGER, R., Qualitätssicherung Firma Flabeg, Furth im Wald, 05.12.2003
- [83] Telefonat mit WEIPING, Z., Wirtschaftsbeauftragter der Botschaft der VR China in der BRD, 31.10.2003
- [84] Verband der deutschen Automobilindustrie (VDA) E. V. (2003): Jahresbericht 2003. Frankfurt/M.: VDA, S. 190-191
- [85] VOS, A. P. de (2000): Non-planar driver's side rearview mirrors: A survey of mirror types and European driver experience and a driver behavior study on the influence of experience and driver age on gap acceptance and vehicle detection. Final Report. Soesterberg: TNO Human Factors

- [86] VOS, A. P. de, HORST, RICHARD, van der & PEREL, M. (2001): Non-planar rearview mirrors: The influence of experience and driver age on gap acceptance and vehicle detection. In: Lighting technology developments for automobiles (pp. 77-89). SAE Technical Paper Series Nr. 2001-01-0321. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [87] VOS, A. P. de, THEEUWES, J. & PEREL, M. (1999): Nonplanar rearview mirrors: A survey of mirror types and European driver experience. SAE Technical Paper Series Nr. 1999-01-0658. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- [88] WALRAVEN, P. L. & MICHON, J. A. (1969): The influence of some side mirror parameters on the decisions of drivers (SAE Technical Paper Series Nr. 690270). New York: Society of Automotive Engineers
- [89] World forum for harmonization of vehicle regulations WP.29 (2002): How it works, how to join it. New York, Geneva: United Nations

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

1993

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw
Faerber, Wobben € 12,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen
König, Werner, Schuller, Beier, Spann € 13,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen
Zellmer € 11,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren
Richter, Michelmann
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator
Albus € 13,50

1994

- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz
Bamberg, Zellmer € 11,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport
Wobben, Zahn € 12,50
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe
P. Junge
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagesschärfe
Chmielarz, Siegl
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie
Derkum € 14,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen
Otte, Schroeder, Eidam, Kraemer € 10,50
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen
Schmieder, Bley, Spickermann, von Zettlmann € 11,00

1995

- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern
Damasky € 12,50
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays
Mutschler € 16,50
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
Zellmer, Schmid
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
Zellmer € 12,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen
Sander € 11,50

1996

- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall – Entwicklung eines Prüfverfahrens
Glaeser € 15,50
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern
Heinrich, von der Osten-Sacken
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“
Nicklisch € 22,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen
Sagerer, Wartenberg, Schmidt € 12,50
- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen – Problemanalyse und Verfahrenskonzept
Grunow, Heuser, Krüger, Zangemeister € 17,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS
Präckel € 14,50
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung
Pullwitt € 11,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand
Sander € 13,00
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe
Fach € 14,00

1997

- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung
Bugsel, Albus, Sievert € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase
Berg, Mayer € 19,50

1998

- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes
Kalliske, Albus, Faerber € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern
Kalliske, Wobben, Nee € 11,50

1999

- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme
Schweers € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern
Vötter, Groß, Esser, Born, Flamm, Rieck € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen
Kohlstruck, Wallentowitz € 13,00

2000

- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
Glaeser
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen
Aubel € 13,00

- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen
Faber € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen
Otte € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BASt – Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach € 14,00
- F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen
Gaupp, Wobben, Horn, Seemann € 17,00

2001

- F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug
Sander, Bugsel, Sievert, Albus € 11,00
- F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weilkes, Steinauer, Bölling, Richter, Gaupp € 19,00
- F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Kraffrädern
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00
- F 37: Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat
Afflerbach, Hassel, Schmidt, Sonnborn, Weber € 11,50
- F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes
Friesen, Wallentowitz, Philipps € 12,50

2002

- F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung
Gail, Lorig, Gelau, Heuzeroth, Sievert € 19,50
- F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

2003

- F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00
- F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00
- F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall
Nett € 16,50
- F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

2004

- F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten
Steven € 12,50
- F 46: Anforderungen an zukünftige Kraffrad-Bremssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit
Funke, Winner € 12,00
- F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformationssystemen
Jahn, Oehme, Rösler, Krems € 13,50
- F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und bei der Hauptuntersuchung nach § 29 STVZO
Pullwitt, Redmann € 13,50

- F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zweiräder
Berg, Rücker, Mattern, Kallieris € 18,00
- F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50
- F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50
- F 52: Intelligente Rückhaltesysteme
Schindler, Kühn, Siegler € 16,00
- F 53: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag
Klanner, Ambios, Paulus, Hummel, Langwieder, Köster € 15,00
- F 54: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw
Niewöhner, Berg € 16,50

2004

- F 55: 1st International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3rd/4th September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

2006

- F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel € 17,00

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10
D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.